

THÈSE DE
PARIS.
1889
N^o. 65

E A, N^o 121
D'ORDRE
662

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES NATURELLES

PAR

HENRI JUMELLE

LICENCIÉ ÈS SCIENCES NATURELLES

1^{re} THÈSE. — RECHERCHES PHYSIOLOGIQUES SUR LE DÉVELOPPEMENT
DES PLANTES ANNUELLES.

2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le **25 JUILLET** 1889, devant la Commission d'examen.

MM. HÉBERT..... *Président*

DELAGE.....

G. BONNIER..... } *Examineurs.*

PARIS

LIBRAIRIE PAUL KLINCKSIECK

52, RUE DES ÉCOLES, 52

EN FACE DE LA SORBONNE

1889

SÉRIE A, N° 121

N° D'ORDRE

662

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES NATURELLES

PAR

HENRI JUMELLE

LICENCIÉ ÈS SCIENCES NATURELLES

1^{re} THÈSE. — RECHERCHES PHYSIOLOGIQUES SUR LE DÉVELOPPEMENT
DES PLANTES ANNUELLES.

2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le **25 JUIN** 1889, devant la Commission d'examen.

MM. HÉBERT..... *Président.*

DELAGE..... } *Examineurs.*

G. BONNIER..... }

PARIS

LIBRAIRIE PAUL KLINCKSIECK

52, RUE DES ÉCOLES, 52

EN FACE DE LA SORBONNE

1889

ACADÉMIE DE PARIS

FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

MM.

Doyen.....	HÉBERT, Professeur....	Géologie.
Professeurs honoraires. {	PASTEUR.	
	DUCHARTRE.....	Botanique.
	DE LACAZE-DUTHIERS.	Zoologie, Anatomie, Physio- logie comparée.
	HERMITE	Algèbre supérieure.
	TROOST.....	Chimie.
	FRIEDEL.....	Chimie organique.
	O. BONNET.....	Astronomie.
	DARBOUX.....	Géométrie.
	TISSERAND.....	Astronomie.
	LIPPMANN.....	Physique.
	HAUTEFEUILLE.....	Minéralogie.
	BOUTY.....	Mécanique rationnelle.
Professeurs.....	APPELL.....	Physique.
	DUCLAUX.....	Chimie biologique.
	BOUSSINESQ.....	Mécanique physique et expé- rimentale.
	PICARD.....	Calcul différentiel et calcul intégral.
	POINCARÉ.....	Calcul des probabilités, Phy- sique, mathématiques.
	Y. DELAGE.....	Zoologie, Anatomie, Physio- logie comparée.
	BONNIER.....	Botanique.
	DASTRE.....	Physiologie.
	DITTE.....	Chimie.
Professeurs adjoints....	WOLF.....	Physique céleste.
	J. CHATIN.....	Zoologie, Anatomie, Physio- logie comparée.
	JOLY.....	Chimie.
Secrétaire.....	PHILIPPON.	

A

M. GASTON BONNIER

PROFESSEUR DE BOTANIQUE A LA SORBONNE

Hommage respectueux

et témoignage de vive reconnaissance.

ACADEMIE DE PARIS

LE 15 JANVIER 1844

M. GASTON BONNIER

LECTEUR DE NOTIONS A L'ECOLE

Notion de l'enseignement

et de l'enseignement de l'enseignement

RECHERCHES PHYSIOLOGIQUES

SUR LE

DÉVELOPPEMENT DES PLANTES ANNUELLES

Par M. Henri JUMELLE

INTRODUCTION.

Mon intention, en entreprenant ce travail, a été d'observer et de décrire les variations que subissent, avec l'âge et avec les conditions externes de végétation, les différents membres d'une plante annuelle.

Les recherches sur le poids frais et le poids sec des plantes sont nombreuses; elles sont loin d'être complètes. La plupart, poursuivies par les agronomes dans un but surtout pratique, ont porté sur les Graminées. Les auteurs qui se sont occupés des autres plantes à un point de vue purement scientifique, tantôt ont simplement comparé, à une époque donnée, les différents membres entre eux, tantôt ont suivi la plante dans son développement, mais à des intervalles très éloignés, et sans insister sur les variations de chaque organe végétatif pris en particulier.

Les résultats obtenus sont donc à la fois incomplets et disséminés. C'est pourquoi il m'a semblé utile de reprendre cette étude dans des conditions d'observation plus favorables et plus précises, et de relier les uns aux autres tous ces résultats en suivant, pour ainsi dire, jour par jour, la marche de la végétation dans les organes de plusieurs plantes.

Quant aux causes externes qui peuvent, en dehors des conditions normales, influencer sur le poids frais ou sec du végétal, ces causes : tantôt arrêtent complètement l'assimilation soit

du carbone soit des sels; tantôt ne font que modifier cette assimilation.

Cette question des conditions plus ou moins favorables à l'assimilation est complexe, et, sur bien des points, encore obscure. Le rôle de chaque sel, l'influence de sa proportion, l'action de l'azote sont autant de questions encore mal résolues, et toujours discutées. Nous n'envisagerons ici que les deux cas extrêmes de l'influence du milieu : celui où la plante, placée dans l'obscurité, ne peut assimiler de carbone par fonction chlorophyllienne; et celui où la plante, poussant dans l'eau distillée, ne peut vivre qu'aux dépens des sels de la graine.

Nous n'entreprendrons cette seconde partie de notre étude qu'après avoir recherché ce que devient dans chacun de ses organes et dans son ensemble une plante vivant dans des conditions normales de végétation.

I. — HISTORIQUE.

Th. de Saussure est le premier dont les travaux sur la partie de la végétation que nous étudions ici aient quelque importance, et les recherches ultérieures n'ont souvent fait que confirmer les vues émises par ce savant. Avant de Saussure, Kirwan et Ruckert avaient trouvé que les plantes herbacées fournissent, à poids égal, plus de cendres que les plantes ligneuses; et Pertuis, reprenant l'étude de ces dernières, avait montré que le tronc des arbres produit moins de cendres que les branches, et celles-ci moins que les feuilles.

Th. de Saussure (1), en 1804, précisa plus encore ces quelques données, en remarquant que les cendres augmentent continuellement dans les feuilles vivantes, et diminuent quand ces feuilles vieillissent. Dans la plante, prise en totalité, la proportion des cendres augmente avec l'âge, mais cette augmentation n'est qu'apparente, et due à la perte d'eau de végétation; en réalité, les cendres diminuent à mesure que la végétation s'avance. La

(1) Th. de Saussure : *Recherches sur la végétation*, 1804.

cause de ce fait doit être sans doute attribuée à la chute ou au dépérissement des feuilles.

Quant à la plus ou moins grande abondance de ces cendres, de Saussure fait observer que les parties qui transpirent le plus sont précisément les parties chargées de sels ; il relie la quantité des sels à la rapidité de la transpiration. Remarquons que nous rappelons ici tous ces résultats à un point de vue historique, et sans les discuter.

La question de la quantité d'eau de végétation a été laissée de côté par de Saussure. « Cette eau de végétation, dit-il, varie tellement suivant la constitution particulière de chaque individu d'une espèce, suivant l'âge et le climat, qu'il convient, avant tout, d'écarter cette source d'erreur. »

En ce qui concerne la substance sèche, de Saussure ne s'en est surtout occupé que pendant les premiers temps de la végétation, pendant la germination. Le premier, il constata que la graine, en germant, perd de son poids sec. En faisant, dit-il, germer à l'aide de l'eau pure, en vase clos, une graine tout à fait desséchée, et en desséchant cette même graine après la germination, on trouve qu'elle pèse moins, même en lui rendant par le calcul le carbone qu'elle a perdu.

La graine a donc abandonné de l'eau fixée auparavant dans sa propre substance, mais cette eau, d'après de Saussure, n'est abandonnée que pendant le desséchement. Sa quantité varie avec la durée de dessiccation.

Quelques-uns de ces résultats de de Saussure seront contredits plus tard, mais beaucoup restent encore admis avec raison.

Après de Saussure, Boussingault (1), vers 1840, reprit cette étude de la végétation, et nos connaissances actuelles sur ce sujet sont dues, sans contredit, en grande partie, aux deux premiers savants qui s'en occupèrent. De Saussure avait constaté une perte de poids dans la graine qui germe. Boussingault montra que cette perte de poids était représentée par une perte de car-

(1) Boussingault : *Économie rurale*.

bone, et une perte d'hydrogène et d'oxygène. Plus tard, la plante gagne, et le gain peut se traduire :

Pour le Trèfle, élevé dans un sol privé d'engrais, par un gain de carbone, d'hydrogène et d'azote;

Pour le Blé élevé dans les mêmes conditions, par un gain de carbone, d'hydrogène et d'oxygène. Il n'y a ici ni gain ni perte d'azote.

Peu après (1840), Boussingault reconnut que la perte d'hydrogène et d'oxygène pendant la germination et le gain de ces deux éléments pendant la végétation se produisaient dans les proportions voulues pour former de l'eau.

En ce qui concerne les plantes élevées dans un sol renfermant des sels, Dumas et Boussingault (1) admettent, comme de Saussure, que la quantité des sels de la plante est liée à la rapidité de l'évaporation.

Oudemans et Rauwenhoff (2), en 1859, divisèrent en deux parties leurs études sur les phénomènes chimiques pendant la germination des graines. La première partie, sortant du sujet qui nous occupe, traite des changements apportés dans l'atmosphère pendant la germination. Dans la seconde partie, les auteurs décrivent les transformations produites dans la graine même.

Ils constatent de nouveau une perte de poids qui augmente avec les progrès de la germination. L'eau qui se forme pendant la germination se produit plus tard que l'acide carbonique. Il s'en forme d'abord moins que de celui-ci, mais sa proportion augmente ensuite plus rapidement.

On n'est pas autorisé, d'après ces auteurs, à établir que le contenu relatif en carbone augmente par ce motif que l'oxygène serait dégagé en proportion plus forte. C'est ce qui a lieu pour quelques graines, mais on observe l'inverse dans le Navet et le Trèfle. L'amidon diminue constamment pendant la germination.

Dans ses *Recherches physiologiques sur la germination du*

(1) Dumas et Boussingault : *Essai de statique chimique des êtres organisés*, 1841.

(2) Oudemans et Rauwenhoff : *Phénomènes chimiques pendant la germination des graines* (Annales des sciences naturelles, 1859).

Phaseolus multiflorus publiées la même année, M. Sachs suit les migrations et les transformations de différentes matières de la graine.

L'amidon, quittant les cotylédons, se distribue dans le premier entre-nœud de la tige et dans la racine. Les cellules du parenchyme cotylédonaire perdent d'autant plus rapidement cet amidon qu'elles sont plus éloignées des faisceaux.

Cet amidon est abondant dans l'entre-nœud hypocotylé. Quand les racines secondaires commencent à apparaître, on ne le rencontre que dans cet axe hypocotylé et dans les cotylédons.

Quand un entre-nœud va s'allonger, l'amidon est transformé ; il est remplacé par du sucre qui, lui-même, disparaît quand l'allongement est terminé.

Nous ne ferons que signaler, comme datant de la même époque à peu près, les travaux de Corenwinder sur la végétation, qui sont surtout des travaux de pure physiologie sur la fonction des feuilles.

De 1862 à 1864, les recherches, fécondes en résultats, de Is. Pierre établissent, pour la première fois, croyons-nous, un fait qui sera, à plusieurs reprises, constaté plus tard : pendant les dernières semaines de végétation, le blé et le colza perdent une partie de l'azote qu'ils renfermaient avant la maturation des graines.

En 1864, parut un travail étendu de M. Gris (1) sur la germination. L'auteur y étudie, dans un certain nombre de plantes, telles que le Ricin, la Belle de Nuit, la Gourde, le Cytise, le Mais, les modifications chimiques et anatomiques qui se produisent dans les cotylédons et dans l'axe hypocotylé. Nous n'avons à retenir ici que le rapprochement fait par M. Gris entre ces deux organes : les cotylédons et l'axe hypocotylé. Nous aurons en effet l'occasion de revenir sur ce rapprochement.

C'est surtout à partir de l'année 1874 que les recherches sur la constitution de la plante se multiplient.

Gelesnoff (1874) détermine la quantité et la répartition de l'eau

(1) Gris : *Recherches sur la germination* (Annales des sciences naturelles, 1864).

dans les plantes, et en particulier dans les plantes ligneuses (Pin, Bouleau, Peuplier, etc.) (1). D'une façon générale, la quantité d'eau augmente de la base à une certaine distance du sommet. Au sommet même, la proportion de substance sèche est plus grande.

Knop (1875) (2) porte ses recherches sur les degrés de concentration des solutions nourricières favorables à la végétation. Il trouve que la moyenne la plus favorable est généralement 2 p. 1000. La formation de la matière sèche augmente avec la quantité du liquide nourricier absorbé, celle-ci dépend du développement des racines et des feuilles. Enfin les quantités de matières minérales dans les plantes augmentent avec la durée de la végétation.

En 1876, 1877 et pendant quelques années suivantes, MM. Dehérain et Nantier (3) poursuivent de nombreuses recherches sur le développement de l'avoine. MM. Marié-Davy et Lévy, en 1875 et 1876 (4), avaient obtenu sur les Graminées les mêmes résultats que précédemment ls. Pierre, et observé que pendant les derniers temps de végétation la substance sèche diminue. MM. Dehérain et Nantier constatent le même fait sur l'avoine, dont le poids frais et le poids sec s'abaissent notablement à la fin de la maturation.

Mais, tandis que MM. Marié-Davy et Lévy inclinent à voir dans ce fait une excrétion par les racines, M. Dehérain combat, avec raison, cette opinion.

Le même auteur, en 1881, étend à un plus grand nombre de plantes ses observations sur cette question. Il constate, pendant la floraison, un gain de la plante. Après cette période, les plantes peuvent être, selon lui, rangées en trois catégories :

1° Les plantes qui diminuent de poids aussitôt après la floraison, et qui éprouvent un dépérissement graduel jusqu'à la mort ;

2° Les plantes qui éprouvent un affaiblissement traduit par la

(1) Gelesnoff : *Quantité et répartition de l'eau dans les organes des plantes* (Florence, 1876).

(2) Knop et Dworzak : *Recherches chimico-physiologiques sur la nutrition*.

(3) *Annales agronomiques*.

(4) Marié-Davy et Lévy : *Annuaire de l'Observatoire de Montsouris*.

diminution de la matière sèche, mais qui conservent pendant la maturation assez de vigueur pour une recrudescence de végétation;

3° Les plantes qui continuent à augmenter de poids pendant qu'elles mûrissent leurs graines.

L'affaiblissement qui accompagne la maturation paraît être dû au transport de la matière azotée, des feuilles vers les graines.

La diminution des matières minérales s'explique, non par l'excrétion, mais par la chute ou la destruction des organes qui les renfermaient.

Pendant les années 1878 et 1879, des recherches, en quelque sorte parallèles à celles de M. Dehérain sur l'avoine, avaient été faites : par Hofmeister, sur le trèfle rouge; par Oswal, sur le maïs; par Moritz, sur la canne à sucre.

Des observations de Moritz sur cette dernière plante, il semblait résulter que le rapport du poids frais au poids sec est constant pour une certaine période.

Von Hœhnel (1878) constate, au contraire, dans les feuilles des plantes herbacées, une variation dans la quantité d'eau suivant la phase du développement. Cette quantité d'eau atteint un premier maximum dans les jeunes feuilles, puis diminue jusqu'à un minimum coïncidant avec le développement moyen des feuilles, pour augmenter de nouveau jusqu'au jaunissement.

Un travail de R. Pott (1) sur les rapports de croissance dans les Légumineuses se rapporte plus directement au sujet de notre étude. D'après les observations de Pott, faites sur les Vicia :

La plante augmente de poids jusqu'à la fin. Cette augmentation atteint son maximum au commencement de la maturation, et son minimum après le commencement de la floraison.

Après la floraison, le gain se fait au compte des gousses. La plus grande absorption de substances minérales a lieu au commencement de la maturation. Ces substances sont absorbées jusqu'à la maturité, et en grande quantité dans la première période du développement de la plante.

(1) R. Pott : *Untersuchungen über die Wachstumsverhältnisse der Leguminosen*, 1880 (Die landw. Versuchstationen von Nobbe, V, 25).

Plus les feuilles sont vieilles, plus elles sont pauvres en matières minérales.

Les plantes mûres montrent une perte de poids, qui s'explique par la chute de quelques parties de la plante.

Sur ce dernier point, Pott s'accorde donc avec M. Dehérain. Les autres résultats fournissent déjà des données intéressantes, mais trop générales aussi bien au point de vue des époques de végétation qu'à celui des organes de la plante.

Il nous reste enfin à citer les travaux plus récents (1884) de MM. Berthelot et André sur la végétation dans les Borraginées et les Amarantacées (1). En dehors de la partie plutôt chimique, il résulte de ce travail que le poids de la plante croît graduellement; mais, tandis que les feuilles avaient l'avantage au début de la végétation, elles le perdent peu à peu aux dépens de la tige. Celle-ci acquiert un poids égal à deux ou quatre fois celui des feuilles. La racine ne représente qu'un poids faible. Ces résultats sont intéressants sans aucun doute; mais ils ont le désavantage de n'être applicables qu'à la plante considérée, et de ne pouvoir être généralisés. Il est certain, en effet, que, dans beaucoup de plantes, le poids des feuilles l'emportera sans cesse sur celui de la tige, et que dans d'autres, comme le fait a déjà été constaté, le poids des racines sera très grand par rapport à celui de la plante.

Il nous semble, en résumé, qu'on peut classer en deux catégories les travaux importants publiés jusqu'à présent sur le poids, frais ou sec, des plantes :

1° Les travaux où les poids des différents organes sont comparés entre eux;

2° Les travaux où, pendant toute la vie végétative, la plante a été suivie dans son ensemble, chaque organe du végétal n'ayant été étudié qu'à des intervalles très éloignés.

C'est à l'étude approfondie de chacun de ces organes, placé dans différentes conditions, que nous nous appliquerons spécialement.

(1) Berthelot et André : *Recherches sur la végétation dans les plantes annuelles* (Comptes rendus de l'Académie des sciences, août-septembre 1884).

II. — MÉTHODE DE RECHERCHES.

1^o *Causes d'erreurs.* — Pour me rendre compte des variations de poids d'une plante pendant la durée de son évolution, j'ai suivi la méthode déjà employée par les auteurs qui se sont occupés de suivre ces variations : des graines sont mises à germer à la même époque dans les mêmes conditions ; un lot de ces plantes est pris de temps à autre, et la moyenne des résultats obtenus représente évidemment, avec une exactitude plus ou moins grande suivant les conditions dans lesquelles on s'est placé, l'état d'une seule et même plante qui aurait été prise et étudiée à ces mêmes périodes de végétation.

La principale cause d'erreur d'une semblable méthode est due aux variations individuelles. Une plante, par exemple, dont la végétation se sera trouvée retardée par une cause anormale quelconque, pourra nous amener à décrire dans l'évolution générale de la plante un arrêt qui, en réalité, ne se sera pas produit. Il est évident que cette cause d'erreur sera plus d'autant atténuée qu'il sera pris un plus grand nombre d'échantillons.

Dans chacune de ces expériences, je n'ai jamais étudié, en réalité, que deux plantes, mais ces expériences ont été faites à des intervalles si rapprochés (3 ou 4 jours), que le grand nombre des expériences diminuait les causes d'erreur dues au nombre restreint des échantillons. Du reste, des cultures des mêmes plantes, dans les mêmes conditions, ont été faites plusieurs fois à des époques différentes, et je n'ai reproduit que les résultats obtenus à plusieurs reprises dans ces cultures.

Dans les cas, très rares d'ailleurs, de divergence dans les résultats obtenus par deux plantes prises à la même époque, les données fournies par d'autres plantes, quelques jours avant ou après, permettaient toujours de reconnaître le cas normal. Quand les résultats étaient de tous points semblables, il ne pouvait subsister aucun doute sur leur valeur.

La même série de cultures ne peut fournir des renseignements rigoureusement exacts sur les variations de croissance en

poids dues à l'âge, car les conditions externes (température, éclaircissement, etc.) sont susceptibles de varier sans cesse pendant le temps que dure le développement de la plante. On serait alors exposé à attribuer à l'âge de la plante des phénomènes dus, en réalité, à ces influences qui peuvent être considérables. Nous avons donc surtout, comme contrôle, comparé à la même époque, pendant le même temps, des plantes parvenues à des états différents de développement.

2° *Espèces étudiées.* — C'est sur le Lupin, plante à culture facile, que nous avons suivi le plus minutieusement les oscillations de la vie végétative. Des expériences comparatives ont été faites, pour les points essentiels de végétation, sur le Sarrazin, le Pois, la Fève et le Maïs.

Sans doute, il peut exister pour d'autres plantes des phénomènes un peu différents de ceux que nous observons sur celles-ci. Il nous semble toutefois légitime d'admettre que des phénomènes tels que la marche de l'accroissement en poids d'un organe végétatif rentrent, comme les phénomènes de croissance, dans cette partie de la physiologie qu'il est permis de considérer comme générale, et qui ne souffre, d'une espèce à l'autre, que de faibles variations.

Le rapport des poids des organes végétatifs entre eux, la proportion des cendres dans ces différentes parties sont des faits que l'on peut supposer très différents suivant les espèces, et nous ne nous en sommes que peu préoccupé. Nous croyons au contraire que, si l'intensité d'accroissement d'un organe peut varier avec la plante, la marche même de cet accroissement se fait suivant une loi déterminée.

On en trouve, au besoin, la preuve dans ce fait que, sur les points déjà connus de végétation, les recherches suivantes ont le plus souvent donné les résultats obtenus par les études d'autres plantes. Enfin, mon but n'est pas de donner une description complète de tous les phénomènes d'accroissement en poids, mais seulement de contribuer, autant que possible, à la connaissance de ces phénomènes.

3° *Dispositif employé.* — En dehors des troubles apportés dans les résultats par les variations individuelles, d'autres causes qui n'ont pas été généralement évitées peuvent produire, dans les observations, des erreurs considérables.

L'une d'elles est due aux racines. On sait avec quelle force ces organes se fixent aux particules de terre, et comment, d'autre part, ils se ramifient abondamment en filaments souvent ténus. On peut dire qu'il est impossible, en pratique, d'obtenir, même par lavage, les racines et les radicelles complètes d'une plante déjà bien développée, qui a poussé dans la terre. Il est aussi impossible de connaître la quantité de racines qui est restée adhérente à la terre et a été emportée avec elle dans le lavage.

Pour remédier à cet inconvénient, les cultures ont été faites dans de la ponce concassée. Chaque plante est mise à germer et à végéter dans un vase en verre, rempli de fragments de ponce. On est assuré ainsi de n'enlever que les racines de la plante observée. De plus, il est toujours facile, à cause de la grosseur des morceaux de ponce, d'en séparer la racine, et de retrouver les parties qui seraient restées adhérentes.

L'emploi de la ponce présente un autre avantage : il permet de faire vivre la plante dans des conditions déterminées. A cet effet, la ponce desséchée a été imbibée d'une solution nourricière. Du reste notre intention n'étant pas d'étudier l'influence de chaque sel ou de sa proportion sur le développement, nous n'avons cherché qu'à réaliser les conditions reconnues, par des recherches précédentes, comme les plus favorables à la végétation.

Nous avons choisi la solution recommandée par Knop, et qui contient, pour un litre d'eau :

	gr.
Azotate de chaux.....	1,000
Phosphate de potasse.....	0,250
Azotate de potasse.....	0,250
Sulfate de magnésie.....	0,250

On ajoute ensuite, à la solution, du phosphate de peroxyde de fer, jusqu'à ce que la liqueur se trouble.

Cette solution n'a été employée que dans la proportion de 50 p. 100. Tous les sels, en effet, n'étant pas immédiatement absorbés, une partie reste dans la ponce ; il se produirait donc, si on arrosait la ponce avec une solution concentrée, une accumulation de sels qui pourrait nuire à la plante.

Ce genre de culture a donné les résultats les plus satisfaisants. Les plantes se sont développées et ont produit des graines. On peut, de plus, assurer qu'elles se sont développées dans les mêmes conditions de nutrition.

Ainsi la culture dans la ponce nous permet de déterminer le poids exact des racines, de connaître les conditions de végétation, et de rendre ces conditions aussi semblables que possible.

4° *Poids sec des feuilles.* — Un autre poids, dont la détermination rigoureuse nous semble ne jamais avoir été faite, est celui des feuilles. Quand les dernières feuilles se développent, les premières se sont généralement flétries et sont tombées. De là une différence dans le poids sec, à laquelle on attribue quelquefois, par simple supposition, la diminution de la substance sèche.

Nous avons pris soin de recueillir, au fur et à mesure de leur chute, chacune de ces feuilles, ainsi que les cotylédons.

Nous avons pu, avec toutes ces précautions, obtenir avec certitude le poids complet de la plante.

5° *Poids sec initial des graines.* — Enfin une autre différence dans le poids sec des plantes recueillies à la même époque peut tenir à une différence première dans le poids sec des graines. Il y a là une cause énorme d'erreur, dont il faut tenir compte, surtout dans les premiers temps de végétation, quand les cotylédons sont encore adhérents.

C'est sans doute pour l'avoir négligée que M. Dehérain a rejeté l'étude du Lupin, qui, selon lui, présente des différences de poids trop grandes entre ses divers individus pour pouvoir fournir des résultats satisfaisants.

Cette cause d'erreur peut être négligeable pour les espèces qui, comme le Sarrazin, le Blé, l'Avoine, présentent des graines

très petites, dont le poids sec ne l'emporte sur le poids sec de la plante que pendant les premiers jours de germination. Elle a une influence considérable, au contraire, sur les résultats, pour les plantes dont le poids sec des graines peut varier environ, comme dans le Lupin, de 0^{gr},200 à 0^{gr},400; comme dans la Fève, de 1^{gr},650 à 2^{gr},500; comme dans le Maïs, de 0^{gr},250 à 0^{gr},450.

Nous avons maintes fois pu constater que ces plantes ne peuvent, en effet, être comparées si l'on ne considère que leurs poids absolus, tandis qu'elles fournissent, au contraire, des résultats concordants si l'on rapporte ces poids absolus au même poids de graine, 1 gramme par exemple.

Il nous faut donc connaître le poids sec de chaque graine que nous mettrons à germer.

Le rapport du poids sec au poids frais d'une graine dépend des conditions dans lesquelles s'est trouvée cette graine. Il est rare que le poids frais d'une graine reste invariable, même pendant une courte période; il augmente ou diminue suivant que la graine absorbe ou évapore de l'eau. Toutefois il est facile de s'assurer que des graines placées dans les mêmes conditions se comportent d'une façon assez semblable pour que le rapport du poids sec au poids frais soit le même dans toutes ces graines.

Ces faits, aisément établis par l'expérience, étant connus, il nous suffira, dès lors, si nous voulons avoir le poids sec de chaque graine mise à germer :

1° De déterminer son poids frais;

2° De faire, parmi les mêmes graines, plusieurs lots et, après avoir pesé chacun d'eux, de les laisser dans une étuve sèche, à 100°, jusqu'à dessiccation complète.

Le rapport du nouveau poids au premier permet de déterminer, pour chaque graine mise en expérience, et dont le poids frais est connu, le poids sec exact.

C'est ainsi qu'il a été fait pour toutes nos cultures, et il est bon de faire remarquer que le rapport du poids sec au poids frais doit être établi de nouveau chaque fois que de nouvelles cultures sont entreprises, même avec des graines dont le poids sec a été déterminé quelques jours auparavant. Le rapport des

deux poids varie en effet, généralement, d'une manière très sensible, d'un jour à l'autre. Il y a là une nouvelle cause d'erreur qui doit encore être évitée.

6° *Poids sec de chaque organe et comparaison des poids secs.*

— Le poids sec de la graine étant ainsi déterminé, chacune de ces graines est mise vingt-quatre heures dans l'eau distillée. Cette précaution a pour but de hâter les premiers phénomènes de germination. Les graines, mises immédiatement dans la ponce, absorberaient, suivant les conditions inégales où le hasard pourrait les placer, des quantités d'eau inégales. Il en résulterait, comme nous avons pu du reste le constater, une germination plus ou moins rapide, et, pour certaines graines, une avance de plusieurs jours sur les autres. Or il est nécessaire ici de rendre la végétation de toutes ces plantes aussi semblable que possible.

Tous les trois ou quatre jours, comme il a déjà été dit, deux de ces plantes étaient déracinées. Chaque organe, après avoir été pesé, était porté dans une étuve à 110° et laissé jusqu'au moment où toute diminution de poids cessait de se produire.

Pour permettre de comparer tous les résultats entre eux, le poids sec de chaque organe pour un poids sec de graine connu a été chaque fois rapporté à 1 gramme de graine.

Supposons, par exemple, qu'une graine pesant sèche 0^{gr},200 ait donné, après un certain temps, une plante pesant sèche 0^{gr},300, et dont la racine, également sèche, pèse 0^{gr},100.

Nous dirons que la plante pesait, pour 1 gramme de graine, 1^{gr},500, et la racine, 0^{gr},500.

Nous avons pu nous assurer que cette méthode, d'ailleurs rationnelle, fournissait des données bien plus comparables entre elles que les poids absolus des plantes et de leurs organes. Nous avons insisté sur ce point pour bien préciser le sens de cette expression, un peu abrégée : *le poids de la plante, pour 1 gramme de graine*, etc., qui reviendra nécessairement à chaque page de ce travail.

III. — DIVISION DE CETTE ÉTUDE.

Chacun des organes, dont l'ensemble constitue le végétal a, comme nous l'avons déjà fait remarquer, son accroissement propre, indépendant jusqu'à un certain point de celui des autres organes. Nous verrons, comme preuve de ce fait, que le changement des conditions externes, par exemple, n'apporte pas le même changement dans tous les membres de la plante. Sous l'influence de l'obscurité, la quantité d'eau varie, dans un sens, pour les cotylédons, et dans un autre sens, pour l'axe hypocotylé ; le gain quotidien en substance sèche, d'autre part, augmente dans celui-ci, tandis qu'il diminue dans les racines.

L'accroissement en poids d'une plante ne représente donc que la somme, par suite peu constante et moins intéressante, d'accroissements partiels variant chacun avec la cause particulière qui le produit : c'est pourquoi il est nécessaire de considérer tout d'abord l'accroissement de chacune de ces parties.

Nous étudierons successivement, pour chacune d'elles, les variations du poids sec et du poids frais, qui sont loin d'être toujours les mêmes.

Pour les racines et pour les feuilles, nous étudierons :

Les variations du carbone, qui représentent dans une certaine mesure, après la chute des cotylédons, la marche de l'assimilation chlorophyllienne ;

Les variations des cendres, qui représentent la marche de l'assimilation des substances minérales.

Puis, ces phénomènes d'accroissement, dans les conditions normales, établis, nous examinerons ce qu'ils deviennent :

1° Quand on supprime l'assimilation des substances minérales en élevant les plantes dans l'eau distillée ;

2° Quand on supprime l'assimilation du carbone, en maintenant les plantes à l'obscurité.

Ce travail se divise ainsi naturellement en deux parties principales :

1^{re} PARTIE : Influence de l'âge sur l'accroissement en poids ;

2^e PARTIE : Influence du milieu sur l'accroissement en poids.

PREMIÈRE PARTIE

INFLUENCE DE L'ÂGE SUR L'ACCROISSEMENT EN POIDS

I

RACINES

1. — Variations, avec l'âge, de la substance sèche des racines.

Le poids sec de la racine atteint son maximum au moment où le fruit mûrit, mais son accroissement pendant toute cette période végétative, qui s'étend de la germination à la maturité, est loin d'être constamment égal.

La marche de cet accroissement peut être assez nettement divisée en quatre périodes :

La 1^{re} *période*, comprise entre le moment où la racicule perce le tégument et celui où la plante se débarrasse de ce tégument ;

La 2^e *période*, allant de ce second moment jusqu'à la floraison ;

La 3^e *période*, coïncidant avec l'épanouissement floral ;

La 4^e *période*, commençant et finissant avec la maturation.

1^{re} *période*. — Nous verrons plus loin, en étudiant la végétation à l'obscurité, que la racine, pendant toute cette période, se comporte de même en l'absence ou en présence de la lumière.

On sait que la croissance longitudinale, dans la racine comme dans la tige, est un phénomène très variable, intimement lié aux conditions d'éclairement, et qui, même à la lumière, varie encore selon les individus. Nous ne nous occuperons ici que de l'accroissement en poids.

Contrairement à la croissance, cet accroissement est, pendant

une certaine période, très régulier pour un même poids de graine.

Des graines de Lupin ont été mises à germer le 27 janvier, à une époque où la végétation est encore peu active, et où les phénomènes peuvent, pour cette raison, être plus facilement observés.

De ces graines, les unes ont germé dans la solution que nous avons indiquée, et les autres dans la ponce imbibée de cette solution.

Quinze jours après, les plantes placées dans la solution n'ont pas encore perdu leurs téguments. Pour un gramme de ces graines, les racines pèsent $0^{\text{gr}},067$, ce qui représente un gain par jour, pendant toute cette période, de $0^{\text{gr}},0045$.

Six jours plus tard, c'est-à-dire après 21 jours de germination, les téguments n'étant pas encore tombés, les racines pèsent, en moyenne, $0^{\text{gr}},094$, pour 1 gramme de graine ; les racines ont donc gagné pendant ces six jours : $0^{\text{gr}},027$; c'est-à-dire pendant chacun de ces six jours : $0^{\text{gr}},0045$.

Les racines des plantes poussant dans la ponce pesaient après quinze jours $0^{\text{gr}},075$; elles peuvent donc être considérées comme ayant gagné par jour $0^{\text{gr}},005$.

Neuf jours après, c'est-à-dire après 26 jours de germination, au moment où les téguments vont tomber, ces racines pèsent en moyenne $0^{\text{gr}},115$. Elles ont donc gagné pendant ces neuf derniers jours : $0^{\text{gr}},040$; c'est-à-dire pendant chacun de ces jours : $0^{\text{gr}},0045$.

Dans les deux cas, donc, la moyenne du gain par jour a été sensiblement la même pendant les premiers comme pendant les derniers jours de germination.

Ces cultures ont été reprises, dans la ponce, au mois d'avril ; des graines des mêmes plantes ont été mises à germer le 21 avril.

Huit jours après, le poids sec des racines est égal à $0^{\text{gr}},048$, en moyenne. Les racines ont donc gagné par jour, pendant toute cette période, $0^{\text{gr}},006$.

Après douze jours, au moment où les téguments vont tomber, les racines pèsent $0^{\text{gr}},072$.

Du huitième au douzième jour, elles ont donc gagné $0^{\text{sr}},024$, c'est-à-dire, par jour, $0^{\text{sr}},006$.

Le gain a été un peu plus grand, chaque jour, qu'au mois de janvier, mais il s'est encore produit régulièrement.

Dans d'autres Lupins qui avaient été plantés le 13 mars, les téguments n'étaient tombés que trente-trois jours après. Pour 1 gramme de graine les racines pesaient $0^{\text{sr}},175$, ce qui représente par jour un gain de $0^{\text{sr}},0053$, assez semblable aux gains précédents.

Des Maïs ont été cultivés dans les mêmes conditions, c'est-à-dire dans de la ponce imbibée de la solution, à partir du 11 avril.

Quatorze jours après le début de la germination, les feuilles n'apparaissent pas encore, mais les racines mesurent en moyenne 1 décimètre de longueur. Ces racines pèsent, pour 1 gramme de graine, $0^{\text{sr}},133$. Le gain par jour, s'il est supposé régulier, a donc été de $0^{\text{sr}},0095$.

Quatre jours après, les feuilles apparaissent, les racines pèsent $0^{\text{sr}},169$. Elles ont donc gagné pendant ces quatre jours $0^{\text{sr}},036$; et pendant chacun de ces jours : $0^{\text{sr}},009$.

Les racines de Maïs gagnent donc plus, pendant le même temps, que les racines de Lupin, mais comme celles-ci, pendant toute la période germinative, elles gagnent d'une façon uniforme, c'est-à-dire que :

Les racines ont gagné, en substance sèche, des quantités égales en des temps égaux, les conditions extérieures restant sensiblement les mêmes.

2° Période. — Avant d'examiner cette seconde période, nous croyons nécessaire de décrire quelques faits qui préviendront une objection importante.

Dans les résultats comparatifs que nous donnerons on observera parfois une discordance de un ou deux jours. Or il pourrait être objecté que des conditions de température, d'éclairement, différentes ont introduit des causes graves d'erreurs.

En réalité ces causes seront négligeables pour la racine pen-

dant les trois mois principaux de nos observations : avril, mai et juin.

Nous allons nous assurer, en effet, que, pendant ces trois mois, les conditions ont peu varié pour les racines.

Des Lupins, plantés le 21 avril, portaient six feuilles le 17 mai, c'est-à-dire vingt-six jours après. Les racines, à cette époque, pesaient en moyenne, pour 1 gramme de graine, 0^{gr},196.

D'autres Lupins n'ont été plantés que le 3 mai. Vingt-trois jours après, ils possédaient six feuilles ; et les racines, comme les précédentes, pesaient 0^{gr},196.

Enfin, dans un troisième lot, mis à germer le 11 juin, la sixième feuille est apparue vingt-huit jours après. Ici encore les racines pesaient en moyenne 0^{gr},194.

Ajoutons que d'autres Lupins, qui avaient été plantés le 13 mars, c'est-à-dire à une époque où la végétation est encore peu active, n'ont poussé six feuilles que quarante et un jours après (23 avril), et les racines, à cette époque, avaient un poids moyen de 0^{gr},330.

Si donc, dans les trois premières expériences, les racines pèsent le même poids après un nombre de jours presque égal, et à une période morphologique semblable, c'est une preuve que, surtout en avril et mai, les conditions de végétation ont peu varié. Elles peuvent être considérées comme égales, et des différences de un ou deux jours, pendant ces mois, n'apporteront pas de troubles sensibles dans les résultats.

Ce fait, qui a son importance, une fois signalé, comparons, aux mêmes époques, les racines de plantes arrivées à des périodes différentes de végétation, avant le moment où les fleurs apparaissent.

Nous avons vu que, du 21 avril au 3 mai, c'est-à-dire après douze jours de germination, les racines de 1 gramme de Lupin pesaient 0^{gr},073.

D'autres Lupins qui ont déjà poussé quarante et un jours dans la ponce imbibée de la solution, et qui possèdent six feuilles, ont des racines dont le poids égale 0^{gr},330, le 23 avril, pour 1 gramme de graine.

Le 5 mai les cotylédons de ces plantes viennent de tomber. Les racines pèsent, en moyenne, 0^{gr},460.

Elles ont donc gagné, du 23 avril au 5 mai, en douze jours, 0^{gr},130, tandis que les racines des autres plantes, qui germent, n'ont gagné que 0^{gr},073.

Chez des Lupins, mis à germer le 11 juin, les racines pesaient, huit jours plus tard, avant la chute des téguments, 0^{gr},048.

D'autres plantes de la même espèce portaient dix feuilles le 12 juin, et les racines pesaient 0^{gr},130. Le 19 juin, les racines pèsent, en moyenne, 0^{gr},200.

Elles ont donc gagné environ 0^{gr},070, tandis que, dans le même temps, les premières, au début de la germination, n'ont atteint que le poids de 0^{gr},048.

Donc, après la chute des téguments, *le gain de la racine, qui jusqu'alors avait été régulier, augmente avec l'apparition de la chlorophylle.*

Cette augmentation est considérable. Dans les deux expériences ci-dessus, on peut voir que le gain par jour est environ deux fois plus grand pour les plantes débarrassées de leurs téguments que pour celles qui en sont recouvertes.

De même, au mois de juin, une racine qui n'avait, dans les huit premiers jours de germination, gagné que 0^{gr},046, pèse, quatre jours après la chute du tégument, qui s'est produite à cette époque, 0^{gr},094. Elle a donc gagné en quatre jours 0^{gr},048, c'est-à-dire deux fois plus environ que précédemment.

Au mois d'avril, les plantes ne se sont débarrassées de leurs téguments qu'après trente-trois jours de germination. Les racines pèsent 0^{gr},175, ce qui représente un gain par jour de 0^{gr},0053.

Deux jours après, les racines pèsent 0^{gr},195. Elles ont donc gagné par jour 0^{gr},010.

Il est évident du reste que cette proportion de l'augmentation de poids, étant liée aux variations de l'assimilation, peut être elle-même assez variable, malgré ces résultats concordants, dus aux conditions presque semblables de végétation.

D'une façon générale, nous déduirons des faits précédents que, *avec l'apparition de l'assimilation, l'accroissement quotidien de*

la racine augmente dans les premiers jours, jusqu'à devenir double de ce qu'il était auparavant.

Suivons maintenant la marche de ce gain avec le développement de la plante, jusqu'à la floraison.

Si nous nous rappelons que les conditions de végétation ont été peu variables pendant les mois d'avril, mai et juin, nous pourrons suivre sur les mêmes lots de Lupins la marche de ce gain.

1^{re} *Expérience.* — Cette série d'observations a été faite du 15 avril au 18 mai. Les plantes ont été prises tous les quatre jours environ.

NOMBRE DE JOURS DE VÉGÉTATION.	POIDS DES RACINES pour 1 gr. de graine.	GAIN PAR JOUR.	OBSERVATIONS.
33 (13 mars-15 avril)	0,175	0,003	Chute du tégument.
35 (15 avril-17 —)	0,195	Du 33 ^e au 35 ^e : 0,010	4 feuilles.
41 (17 — 23 —)	0,330	35 ^e 41 ^e : 0,022	6 —
45 (23 — 27 —)	0,370	41 ^e 45 ^e : 0,010	7 —
49 (27 — 1 ^{er} mai)	0,400	45 ^e 49 ^e : 0,008	Chute des cotylédons.
53 (1 ^{er} mai- 5 —)	0,450	49 ^e 53 ^e : 0,012	9 feuilles.
57 (5 — 9 —)	0,505	53 ^e 57 ^e : 0,014	12 feuilles.
66 (9 — 18 —)	0,670	57 ^e 66 ^e : 0,019	Les fleurs vont apparaître.

2^e *Expérience.* — Cette seconde série d'observations a été faite du 19 juin au 9 juillet. Elle correspond à la première partie de la série précédente.

NOMBRE DE JOURS DE VÉGÉTATION.	POIDS DES RACINES pour 1 gr. de graine.	GAIN PAR JOUR.	OBSERVATIONS.
8 (11 juin-19 juin)	0,046	0,0056	Chute du tégument.
12 (19 — 23 —)	0,094	Du 8 ^e au 12 ^e : 0,012	2 feuilles.
14 (23 — 25 —)	0,104	12 ^e 14 ^e : 0,005	3 feuilles.
19 (25 — 30 —)	0,144	14 ^e 19 ^e : 0,008	4 —
28 (30 — -9 juil.)	0,194	19 ^e 28 ^e : 0,006	Chute des cotylédons.

On voit, dans cette seconde série d'expériences, que le gain par jour qui a été très grand, comme nous l'avons dit, quelques jours après la chute du tégument, diminue ensuite, puis augmente de nouveau jusqu'au moment de la chute des cotylédons où une nouvelle diminution se produit.

Les résultats sont exactement les mêmes dans la première série d'expériences. Cette série, plus longue, montre en outre que le gain par jour, après cette diminution qui se produit au moment où les cotylédons tombent, recommence à augmenter jusqu'à la floraison.

Dans le Sarrazin et le Maïs, nous avons également constaté un accroissement dans le gain par jour coïncidant avec le commencement de l'assimilation, mais nous n'avons pu remarquer de différence sensible au moment de l'épuisement des réserves cotylédonaires.

Nous distinguerons donc, pour les plantes à cotylédons épigés et charnus, quatre moments dans cette seconde période :

1° *Le gain par jour devient très grand au moment de la chute des téguments;*

2° *Il est moindre quelques jours après, puis il va de nouveau en augmentant;*

3° *Il éprouve une seconde diminution au moment de la chute des cotylédons;*

4° *Il augmente ensuite, avec le développement de la plante, jusqu'à la floraison.*

Dans les plantes dont le ou les cotylédons sont hypogés, comme les Graminées, certaines Légumineuses, et dans celles où les cotylédons sont très minces, comme le Sarrazin, ces diminutions ne paraissent pas sensibles. On ne peut ici observer, d'une façon générale, qu'une augmentation de poids de plus en plus grande, depuis l'époque où les feuilles sont apparues, jusqu'à celle de la floraison.

3^e période. — Nous avons vu qu'après 66 jours de végétation, (du 13 mars au 18 mai) au moment où les fleurs vont apparaître, les racines pèsent en moyenne, pour 1 gramme de graine, 0^{gr},670.

Parmi ce lot de plantes, une d'elles, un peu plus avancée en développement, laisse déjà apercevoir ses fleurs. Or les racines de cette plante ne pèsent, pour 1 gramme de graine, que 0^{gr},459.

Six jours plus tard, les fleurs s'épanouissent chez toutes les plantes. Le poids moyen des racines est devenu 0^{gr},411.

Enfin, six autres jours après, les fleurs se fanent et les fruits commencent à se former. Le poids moyen des racines est de 0^{gr},830.

Dans une autre expérience, faite le 28 juin, nous avons comparé deux Lupins qui ont poussé 68 jours.

Les fleurs de l'un, bien visibles, sont au commencement de leur développement ; le poids des racines est égal, pour 1 gramme de graine, à 0^{gr},438.

Les fleurs de l'autre sont notablement plus avancées et se flétrissent ; les racines pèsent 0^{gr},653.

Le même jour, deux plantes d'un autre lot ont été prises. Elles sont plantées depuis 56 jours.

Les fleurs de la première ne sont pas encore ouvertes ; les racines pèsent, toujours pour 1 gramme de graine, 0^{gr},508.

Les fleurs de la seconde sont plus avancées et s'ouvrent ; les racines ne pèsent que 0^{gr},377.

Ainsi, dans toutes ces expériences, vers le moment où les fleurs s'épanouissent, les racines ont un poids notablement moindre qu'avant et après l'épanouissement floral.

L'étude du Sarrazin montre le même fait :

Après 32 jours de végétation, les fleurs vont apparaître. Les racines pèsent en moyenne 1^{gr},340.

Le lendemain, de nouvelles plantes de la même espèce sont prises. La moyenne du poids sec des racines est 1^{gr},380.

Huit jours après, les fleurs sont épanouies. Le poids sec moyen des racines, pour 1 gramme de graine, est égal à 1^{gr},090.

Il nous semble donc qu'après ces diverses observations, il ne peut rester aucun doute sur ce fait, que le poids sec des racines diminue pendant la floraison. Le temps de cette diminution paraît correspondre, en général, à l'époque du plein épanouissement floral.

Cette diminution du poids sec des racines peut tenir à deux causes :

1° A une migration de la substance des racines vers le haut de la plante.

2° A une disparition de cette substance, du corps tout entier de la plante.

La première de ces causes doit certainement entrer en ligne de compte dans l'explication du phénomène. Elle a été déjà constatée en effet, et elle se conçoit facilement quand on pense au développement rapide des organes floraux, qui ne peut se faire qu'aux dépens de la substance déjà élaborée. Nous avons toutefois observé, en outre, généralement une tendance à la diminution du poids sec total de la plante, à cette époque de la floraison. Il y a donc, non seulement migration, mais disparition de substance.

Quant à la cause de cette disparition, nous croyons qu'elle doit être cherchée dans les phénomènes respiratoires. On sait que les fleurs sont le siège d'une forte combustion et MM. Bonnier et Mangin ont montré que, chez ces organes, le rapport $\frac{CO_2}{O}$ est très grand. Il n'est donc nullement étonnant de trouver, au moment où ils fonctionnent le plus activement, une diminution de poids sec dans les racines. Cette diminution serait ainsi due à l'appel de substance par des organes qui non seulement, étant peu capables d'assimiler par eux-mêmes, ont besoin de cette substance pour se développer, mais qui dépensent, par une forte combustion, une partie de cette substance.

La durée de cette perte de poids sec est, du reste, très courte, puisque nous avons constaté une augmentation de poids au moment où les fleurs apparaissent, et au moment où elles vont se faner; c'est pourquoi cette perte a passé inaperçue dans les observations faites seulement au commencement et à la fin de la floraison.

En résumé, dans cette période, *le poids des racines est un peu plus grand à la fin qu'au commencement, mais il y a eu, vers le milieu, une perte notable.*

Remarquons qu'il s'agit ici d'une diminution du poids, et non

pas seulement d'une diminution du gain par jour, comme à la chute des cotylédons.

4^e période. — Nous insisterons peu sur cette dernière période, déjà étudiée d'une façon générale, par M. Dehérain, et pour laquelle nous avons rappelé précédemment que cet auteur distingue trois catégories de plantes.

Pour le Lupin et le Sarrasin, nous n'avons constaté aucune perte de substance, mais au contraire, pendant un certain temps, un gain assez fort.

Nous avons vu, par exemple, dans une de nos expériences, que, après 78 jours de végétation, au moment où des fleurs commencent à se faner, les racines de Lupin pèsent, en moyenne, pour 1 gramme de graine, 0^{gr},830. Or cinq jours après, les racines d'un Lupin, qui porte des fruits, pèsent 1^{gr},311.

Du reste, nous ne trouvons plus, à cette époque, aucune régularité dans les résultats, et le fait est dû à plusieurs causes. Le nombre des graines qui se développent varie suivant chaque plante; il en est de même du nombre des ramifications florales qui poussent après la première floraison. Le gain des racines dépend évidemment de toutes ces causes, et varie avec elles. Il est donc également difficile de décider si ce gain est dû à la maturation des graines ou au développement des nouvelles feuilles.

Résumé des variations du poids sec de la racine. — En résumé, dans la racine :

Il y a gain quotidien en poids sec depuis la germination jusqu'à la floraison. Ce gain est régulier pendant la germination; il augmente quand la chlorophylle apparaît, et de plus en plus jusqu'à la chute des cotylédons; puis il diminue momentanément chez les plantes à cotylédons charnus, quand ces cotylédons tombent, pour augmenter de nouveau jusqu'à la floraison.

Il y a perte de poids sec au moment de l'épanouissement floral, puis reprise de gain vers la fin de la floraison.

A la maturation les phénomènes sont variables suivant les espèces.

Le développement des fruits est, en outre, accompagné souvent du développement de nouveaux organes : feuilles et fleurs. Les variations du poids des racines résultent de l'ensemble de ces différentes causes agissant chacune pour son propre compte.

2. — Variations, avec l'âge, du carbone et des substances minérales des racines.

Les variations du carbone et des sels, par rapport aux variations de la substance sèche de la plante, ont été suivies sur les cultures de Lupin déjà citées.

Tous les résultats obtenus ont été, pour plus de clarté, résumés dans le tableau ci-contre. Nous nous contenterons de donner ici les conclusions auxquelles nous ont amenés les analyses de ces racines :

1° *Carbone*. — Pendant les premiers temps de la végétation, avant et même un peu après la chute des téguments, le carbone représente la moitié environ du gain de la substance sèche.

Dans la suite, jusqu'à la chute des cotylédons, il ne représente plus que le tiers, à peu près, du gain du poids sec.

Depuis la chute des cotylédons jusqu'à la floraison, sa proportion dans le gain augmente de nouveau.

Pendant la floraison, quand il y a perte de substance, le carbone représente plus de la moitié de cette perte. Ce dernier fait nous semble bien montrer la grande part qui revient, comme nous l'avons supposé, à l'intensité des phénomènes respiratoires dans cette perte de poids.

Enfin, dans la dernière période végétative, la proportion du gain de carbone au gain total devient très faible.

Si nous considérons maintenant, non plus la proportion du carbone dans le gain total, qui dépend de l'entrée plus ou moins grande des autres substances dans la plante, mais la marche du gain du carbone au point de vue absolu, nous voyons que ce gain par jour :

EXPÉRIENCES.	NOMBRE DE JOURS DE VÉGÉTATION.	POIDS TOTAL DE LA SUBST. SÈCHE pour 1 gr. de graine.	POIDS TOTAL POUR 1 GRAMME de graine		GAIN (+) OU PERTE (-) PAR JOUR			RAPPORT DU GAIN OU DE LA PERTE par jour au gain ou à la perte de substance sèche totale		OBSERVATIONS.
			du carbone.	des sels.	de la subst. sèche.	du carbone.	des sels.	pour le carbone.	pour les sels.	
1 ^{re} .	8 (11-19 juin).....	gr. 0,045	gr. 0,021	0,002	+ 0,0055	0,0026	0,00025	+ 0,470	+ 0,045	Téguments non tombés. 2 feuilles.
	12 (19-23 juin).....	0,094	0,044	0,006	+ 0,011	0,0057	0,001	+ 0,518	+ 0,090	
2 ^e .	12 (21 avril-3 mai)...	0,073	0,036	0,004	+ 0,006	0,003	0,0003	+ 0,500	+ 0,050	Téguments non tombés. 3 feuilles. 6 —
	24 (3 mai-12 mai).... 26 (12 mai-17 mai)...	0,148 0,196	0,064 0,081	0,015 0,040	+ 0,008 + 0,009	0,0034 0,0034	0,0042 0,005(?)	+ 0,387 + 0,377	+ 0,450 + 0,500(?)	
3 ^e .	35 (13 mars-17 avril). 44 (17 avril-23 avril).. 49 (23 avril-1 ^{er} mai)..	0,195 0,330 0,390	0,067 0,111 0,144	0,025 0,037 0,054	+ 0,022 + 0,007	0,0073 0,0041	0,002 0,002	+ 0,331 + 0,585	+ 0,400 + 0,285	7 feuilles. Chute des colylé- dons. 7 feuilles. 43 —
	57 (1 ^{er} mai-9 mai).... 66 (9 mai-18 mai).... 72 (18 mai-24 mai).... 78 (24 mai-30 mai).... 114 (30 mai-4 juin)....	0,505 0,673 0,441 0,850 1,218	0,201 0,270 0,134 0,183 0,433	0,072 0,120 0,400 0,178 0,292	+ 0,014 + 0,018 - 0,043 + 0,073 + 0,010	0,0071 0,0077 - 0,033 + 0,008 0,0069	0,0022 0,0053 - 0,003 + 0,013 + 0,003	+ 0,507 + 0,420 - 0,660 + 0,400 + 0,090	+ 0,157 + 0,290 - 0,400 + 0,178 + 0,310	Nouvellesramifi- cations florales et maturation.

Augmente sans cesse, dans la racine, depuis la chute des téguments jusqu'à la chute des cotylédons ;

Devient moindre à cette époque ;

Augmente de nouveau jusqu'à la floraison, où il y a perte notable ;

Est égal à peu près, quand les fleurs se fanent, à ce qu'il était avant la floraison, puis va en diminuant.

2° *Substances minérales.* — Comparons tout d'abord, comme pour le carbone, le rapport du gain des sels de la racine au gain total de cette racine sèche. Comme le montre le tableau précédent, cette proportion, d'abord très faible avant la chute des téguments, va ensuite en augmentant rapidement jusqu'à la chute des cotylédons.

Elle devient très grande au moment de cette chute et diminue ensuite pour augmenter jusqu'à la floraison.

Elle s'accroît énormément aussitôt après la floraison.

Pendant la floraison, il y a également perte de substances minérales, mais cette perte est excessivement faible par rapport à la perte du carbone et de la substance sèche.

Envisagées maintenant au point de vue absolu, les substances minérales :

Sont en quantité très faible dans la racine avant la chute du tégument ;

Éprouvent, après cette chute, un gain plus grand, mais qui, pendant un certain temps, reste assez sensiblement le même par jour ;

Augmentent rapidement avec le développement des feuilles dans la période qui précède la floraison,

Ne subissent qu'une faible perte pendant l'épanouissement floral ;

Vont en augmentant, de nouveau, rapidement au commencement de la maturation ;

Augmentent encore, mais bien moins rapidement, pendant la dernière période végétative.

En résumé, la marche du gain des substances minérales suit

généralement la marche du gain du carbone. Les principales différences s'observent :

Au moment de la chute des cotylédons, où le gain par jour diminue pour le carbone et reste à peu près le même pour les sels ;

Pendant la floraison, où la perte de carbone est très grande dans la racine, et la perte de sels très faible.

Les autres différences ne sont, en somme, que secondaires.

3. — Variations, avec l'âge, de la proportion d'eau des racines.

Le rapport du poids d'eau au poids sec varie dans la racine, comme dans toute la plante en général, avec le développement. Il est à peine besoin d'ajouter qu'aux mêmes époques de végétation cette proportion d'eau peut être, dans les mêmes organes, différente suivant les espèces de plantes considérées. Les variations de cette proportion sont donc seules comparables.

1^{re} expérience. — Dans des expériences faites au mois de juin sur des Lupins, les nombres représentant le rapport du poids de l'eau au poids sec de la racine ont été trouvés égaux en moyenne aux nombres suivants :

Après 8 jours.....	12.	Les téguments tombent.
— 12 —	13.	2 feuilles.
— 14 —	15.	3 —
— 19 —	15.	4 —
— 28 —	17.	Chute des cotylédons.

Nous savons déjà que, pendant toute cette période, le poids sec a constamment augmenté. Nous voyons qu'il en est de même du poids frais. Celui-ci s'est aussi continuellement accru ; et en outre, dans une proportion de plus en plus grande par rapport à la substance sèche, puisque les nombres qui représentent cette proportion sont de plus en plus grands.

Jusqu'au moment de la chute des cotylédons, l'eau augmente donc, dans la racine, dans des proportions qui s'élèvent plus rapidement que pour la substance sèche.

2^e expérience. — Dans une autre série d'expériences, nous avons obtenu, pour les rapports du poids de l'eau au poids sec :

Après 17 jours de végétation.	15.	2 feuilles.
— 21 — ..	15.	3 —
— 26 — ..	16.	6 —
— 35 — ..	17.	Les cotylédons vont tomber.
— 41 — ..	15.	Les cotylédons sont tombés.

Les résultats sont semblables aux précédents, mais nous observons de plus, après la chute des cotylédons, que la proportion d'eau a diminué.

3^e expérience. — Dans cette expérience faite au mois d'avril, les observations ont été commencées un peu avant la chute des cotylédons, et suivies jusqu'à la mort de la plante. Le rapport du poids sec au poids de l'eau était égal à :

Après 45 jours de végétation.	17.	6 feuilles. Cotylédons encore adhérents.
— 53 — ..	15.	Cotylédons tombés.
— 66 — ..	16.	13 feuilles.
— 72 — ..	16.	Floraison.
— 78 — ..	16.	Les fleurs se fanent.
— 83 — ..	15.	Nouvelles ramifications florales.
— 114 — ..	15.	Seconde floraison.
	12.	Seconde maturation.

On voit donc que, après la chute des cotylédons, il y a momentanément une légère diminution dans la proportion d'eau, puis cette proportion augmente de nouveau et reste stationnaire jusqu'à la floraison, et pendant la floraison. Pendant tout ce temps, l'eau suit ainsi les variations de la substance sèche.

Pendant la maturation, il y a diminution de la proportion d'eau.

En résumé, dans les racines :

Le maximum de la proportion d'eau paraît se produire au moment de la chute des cotylédons ;

Du début de la germination jusqu'à ce moment, l'eau augmente, dans la racine, dans des proportions plus rapides que la substance sèche.

Après la chute des cotylédons, le contenu en eau varie sensiblement dans les mêmes proportions que cette substance sèche, jusqu'à la maturation.

Pendant la maturation, la proportion d'eau diminue.

II. — COTYLÉDONS.

1. — Variations, avec l'âge, de la substance sèche des cotylédons.

Dès que la chlorophylle apparaît, les cotylédons gagnent, d'une part, en substance sèche, et perdent de l'autre.

Le gain est dû à l'assimilation; mais, comme nous le verrons plus loin, soit à cause de la faiblesse de cette assimilation, soit à cause de l'intensité bien plus forte de la respiration, ce gain est très faible, et presque négligeable.

La perte, au contraire, est considérable; elle est due:

1° A l'appel des matières de réserve par les parties de la plante en voie de développement;

2° A la transformation de ces matières, qui entraîne, comme l'a montré Boussingault, une perte de carbone et d'eau;

3° A la respiration, qui est très active dans ces organes.

En d'autres termes, les cotylédons perdent en poids sec par migration d'une partie de leur substance et par disparition réelle d'une autre partie.

1° Perte de substance sèche des cotylédons par transformations chimiques. — Pour déterminer séparément la quantité de substance sèche perdue par transformations chimiques et l'isoler de la quantité perdue par migration, nous étudierons la diminution du poids sec de toute la plante. Les substances qui se sont simplement transportées d'un organe à l'autre se retrouveront ainsi en définitive dans le poids total de tous ces organes, et la diminution de ce poids total ne peut être évidemment due qu'à une disparition complète de substance.

Tous les organes peuvent, il est vrai, contribuer à la perte

de poids de toute la plante, mais dans les conditions où nous nous sommes placés, les feuilles ne se sont développées que très tard, vers la fin de l'expérience; d'autre part, les organes développés, l'axe hypocotylé et les racines, respirent relativement peu. Les résultats que nous obtiendrons sur la marche de la disparition de la substance s'appliquent donc d'autant plus sensiblement aux cotylédons que ceux-ci sont le siège principal de cette disparition.

Les expériences ont été faites pendant les mois de janvier et février sur des plantes élevées dans une salle chauffée, recevant un jour moyen. L'éclairement est, en somme, suffisant pour que les plantes verdissent; mais il ne permet, surtout à cette époque de l'année, qu'une faible assimilation, et le gain qui en résulte ne trouble pas les résultats obtenus. La saison choisie est, en outre, favorable à ces expériences, car les progrès de la végétation sont très-lents, et, par suite, plus facilement suivis qu'en été, où des changements considérables se produisent en quelques jours et, par leur rapidité, échappent à l'attention.

Les nombres que nous donnons plus loin représentent chacun la moyenne d'un grand nombre d'observations prises tous les deux ou trois jours, quelquefois tous les jours. Un grand nombre d'expériences est ici nécessaire à cause des faibles différences obtenues pour des intervalles aussi rapprochés.

Les graines ont été laissées dix jours dans l'air humide. Au bout de ce temps, la radicule est apparue; 1 gramme de graine est devenu en moyenne 0^{gr},980.

Chacune de ces graines a été mise à végéter, suivant le procédé de Sachs, dans la solution décrite plus haut.

Après trois jours de végétation, le tégument n'est pas encore tombé; le poids moyen, pour 1 gramme de graine, est devenu 0^{gr},965, 1 gramme de graine a donc perdu, pendant chacun de ces 3 jours, $\frac{0^{\text{gr}},980 - 0^{\text{gr}},965}{3} = 0^{\text{gr}},005$.

Huit jours plus tard, après 11 jours de végétation, le tégument est tombé, et les cotylédons sont déjà verts. Le poids moyen des plantes est égal à 0^{gr},930. Ces plantules ont donc

perdu pendant ce temps 0^{gr},035, c'est-à-dire, par jour, environ 0^{gr},0045.

Après 17 jours de végétation, les racines secondaires sont apparues. Le poids moyen est égal à 0^{gr},900. 1 gramme de graine a donc perdu quotidiennement, pendant ces 6 derniers jours, 0^{gr},005.

Au 26^e jour de végétation, le poids moyen est de 0^{gr},850, ce qui représente une perte quotidienne de 0^{gr},0055.

Enfin, après 34 jours, les cotylédons jaunissent, la gemmule s'allonge notablement. Le poids moyen de la plante, par 1 gramme de graine, égale 0^{gr},800.

La plante a ainsi perdu, par jour, environ 0^{gr},006.

Dans d'autres expériences, faites sur le grain de Blé, nous avons trouvé que 1 gramme de graine est devenu :

Après 8 jours de végétation..	0 ^{gr} ,880	Perte par jour...	0 ^{gr} ,015
— 23 — ..	0 ,670	— ..	0 ,014

A cette dernière époque, trois feuilles sont déjà développées. et l'assimilation, si faible qu'elle soit, a plus d'influence que précédemment, à cause du poids minime de la graine. Il n'est donc pas étonnant que la perte semble légèrement moindre pendant les derniers jours.

Pour des graines de Fève, d'autre part, 1 gramme de graine est devenu :

Après 23 jours de végétation..	0 ^{gr} ,780	Perte par jour..	0 ^{gr} ,0096
— 29 — ..	0 ,720	— ..	0 ,010

En résumé, on voit par ces expériences faites à la lumière, mais dans lesquelles l'assimilation n'intervient que faiblement, que *la perte de poids par jour, due aux transformations chimiques des matières de réserve et à la respiration, augmente, mais très faiblement, jusqu'à la chute des cotylédons.*

Peut-être cet accroissement de perte n'est-il dû qu'à la respiration, qui augmente avec le développement des organes. Ajoutons, enfin, qu'aux époques favorables de végétation, cette période devient très courte, et que la régularité de la perte du

poids sec est alors bientôt troublée par le gain qui résulte de l'assimilation.

Mais les conclusions précédentes doivent rester applicables aux cotylédons, qui gagnent toujours peu par assimilation.

2° *Perte de substance sèche des cotylédaons par migration de substances.* — Examinons maintenant comment les cotylédons perdent en totalité. Cette perte totale est due à la disparition d'une partie de la substance par transformations chimiques, et à la migration d'une autre partie de cette substance. Nous connaissons la marche de la perte de poids par transformations chimiques; Nous allons connaître, d'autre part, la marche de la perte totale. Il nous suffira donc de constater les différences qui se produisent dans ces deux cas pour déterminer la marche de la migration des substances, qui est la cause de ces différences.

Au début de la germination, les cotylédons forment pour ainsi dire, en poids, toute la graine. 1 gramme de graine représente par suite 1 gramme de cotylédons. Donc des cotylédons qui après 8 jours de germination pèsent, pour 1 gramme de graine, 0^{gr},750 en moyenne, peuvent être considérés comme ayant perdu, dans ces huit jours, 0^{gr},280, c'est-à-dire chaque jour 0^{gr},030 (1).

Les téguments tombent à cette époque. Quatre jours plus tard, les plantes portent deux feuilles. Les cotylédons ne pèsent plus, en moyenne, que 0^{gr},600. La perte par jour est égale à 0^{gr},037.

Deux jours après, les feuilles, au nombre de trois, sont bien développées. Les cotylédons pèsent 0^{gr},450 environ. La perte par jour s'est donc élevée à 0^{gr},075.

Enfin ce poids égale :

5 jours plus tard,.....	0 ^{gr} ,290	Perte par jour.....	0 ^{gr} ,032
9 —	0 ,450	—	0 ,045

(1) Il est évident que la perte des cotylédons n'est pas la même, le premier et le huitième jour de germination. Les nombres représentant les pertes quotidiennes ne sont donc donnés que comme moyennes, pour fixer les idées en permettant de considérer les variations de poids pendant des périodes égales.

Dans une autre expérience, les cotylédons ont perdu :

Après 17 j. 2 (feuilles).	0 ^{gr} ,390	ce qui représente une perte par jour de	0 ^{gr} ,034
— 24 3 — ...	0 ,070	— — —	0 ,017
— 26 ..	0 ,080	— — —	0 ,015
— 35 ..	0 ,060	— — —	0 ,006

Dans une troisième expérience, ils ont perdu :

Du 41 ^e au 43 ^e jour (6 feuilles)....	0 ^{gr} ,050	c'est-à-dire par jour....	0 ^{gr} ,013
45 ^e 49 ^e	0 ,030	—	0 ,008

On voit donc, par ces expériences, que, contrairement à ce qui a lieu pour la perte par disparition de substances, du corps de la plante, la *perte par migration de substances, des cotylédons vers les autres parties de la plante, après avoir été de puis en plus grande pendant la germination et au moment où les premières feuilles se développent, va ensuite en diminuant jusqu'à la chute des cotylédons.*

Nous venons de suivre les variations que subit le poids sec des cotylédons d'une plante. Une question nous reste à examiner. Les cotylédons de deux plantes dont les graines avaient un poids différent perdent-ils, pendant le même temps, la même quantité de substance sèche, ou des quantités variant avec leur poids primitif? Il est facile de s'assurer que c'est ce dernier cas qui se produit.

Deux graines pesaient, sèches, l'une 0^{gr},196 et l'autre 0^{gr},361. Après 41 jours, les cotylédons de la première pèsent 0^{gr},056 et ont perdu 0^{gr},140; les cotylédons de la seconde pèsent 0^{gr},082 et ont perdu 0^{gr},279. La seconde graine pesait donc environ le double de l'autre; la perte a été également double.

Deux autres graines pesaient sèches, l'une 0^{gr},164 et l'autre 0^{gr},235. Après 49 jours, les cotylédons de la première pèsent 0^{gr},034 et ont perdu 0^{gr},130; les cotylédons de la seconde pèsent 0^{gr},049 et ont perdu 0^{gr},186. Le rapport des deux pertes, comme le rapport des poids des deux graines, égale environ 7/10.

Nous multiplierions aisément ces exemples, mais le fait peut déjà sembler évident par lui-même. Nous avons cru nécessaire toutefois de le prouver, parce qu'il a dans ce travail une certaine

importance. En effet, il justifie la méthode que nous avons suivie, et il explique les résultats concordants que nous obtenons en ramenant toutes les plantes à un même poids de graine.

2. Variations, avec l'âge, du carbone et des substances minérales des cotylédons.

Nous avons suivi ces variations dans la racine, nous les suivrons dans la tige et les feuilles, parce qu'elles représentent alors les variations de l'assimilation de la plante. Dans les cotylédons, qui sont de simples organes de réserve, assimilant peu, et dont la substance sèche diminue sans cesse, cette étude ne peut présenter aucun intérêt. Nous nous contenterons de constater que les substances minérales, comme on peut le pressentir, suivent, en général, les variations de la substance sèche.

3. Variations, avec l'âge, de la quantité d'eau des cotylédons.

Si l'on compare entre eux, à différentes périodes de végétation, le poids frais et le poids sec des cotylédons, on observe que le rapport du premier de ces poids au second augmente continuellement à mesure que la plante se développe. Très faible pendant les premiers jours de germination, où le poids frais n'égale que deux ou trois fois le poids sec, ce rapport devient très grand au moment de la chute des cotylédons, où la quantité d'eau est 20 à 25 fois plus forte que la quantité de substance sèche.

Cette observation ne donne toutefois que des renseignements incomplets. En effet, la substance sèche diminuant sans cesse, le rapport du poids frais au poids sec augmentera :

Soit que la quantité totale d'eau reste la même;

Soit qu'elle augmente ;

Soit qu'elle diminue moins rapidement que cette substance sèche.

Pour déterminer quel est, de ces trois cas, celui qui se pro-

duit, il faut donc étudier les variations de la quantité d'eau elle-même.

Les expériences ont été faites sur le Lupin, où les cotylédons sont épigés, et sur le Pois, où ils sont hypogés.

Dans le Lupin, les cotylédons d'un gramme de graine renferment au mois de juin, en moyenne :

Après 8 j. de végétation..	gr.	3,210 d'eau (tég. tombé).
— 12	—	3,611 — 2 feuilles.
— 14	—	4,090 — 3 —
— 19	—	3,814 — 4 —
— 28	—	3,234 — Le lendemain, chute des cotylédons, qui sont grands et verts, 6 feuilles.

Dans une autre expérience, au mois de mai, les cotylédons d'un gramme de Lupin renfermaient en eau :

Après 17 jours de végétation.....	3 ^{er} ,285 (Tégument tombé, 2 feuilles).
— 21	— 3 ,340 3 feuilles.
— 26	— 3 ,400 6 —
— 33	— 3 ,257 7 —

Ainsi la quantité d'eau, la même environ dans les deux cas, a augmenté pendant un certain temps, pour diminuer ensuite. On voit d'ailleurs que l'augmentation, comme la diminution, est très faible.

Cette dernière ne devient considérable qu'au moment où les cotylédons se détachent; mais ils ne peuvent plus alors être considérés comme vivants.

Dans le Pois, les cotylédons d'un gramme de graine renfermaient, au mois de novembre, en moyenne :

Après 11 jours de végétation.....	1 ^{er} ,400	4 feuille.
— 21	— 1 ,800	3 —
— 46	— 1 ,950	5 —

Nous obtenons donc pour les cotylédons épigés et hypogés les mêmes résultats, bien que les derniers restent jaunes et se développent peu, tandis que les premiers verdissent et s'accroissent. Nous retrouverons, du reste, cette même augmentation d'eau dans les cotylédons de Lupins vivant à l'obscurité.

On sait que, dans les uns comme dans les autres, les cellules se multiplient; il nous semble rationnel d'attribuer à la multiplication cellulaire l'augmentation d'eau. Et, en effet, dans les cotylédons verts, on peut remarquer que l'accroissement de la quantité d'eau coïncide à peu près avec le temps pendant lequel ces cotylédons se développent. C'est environ à partir du moment où ils ont atteint leur volume définitif qu'on observe une légère diminution du poids d'eau.

Constatons, en tous cas, l'indépendance qui semble exister entre la substance sèche et l'eau des cotylédons :

Tandis que cette substance sèche diminue, la quantité d'eau reste invariable dans une certaine limite; elle n'éprouve qu'un faible accroissement suivi, quelque temps avant la chute des cotylédons, d'une faible diminution.

III. — AXE HYPOCOTYLÉ (1).

1. — Variations avec l'âge de la substance sèche de l'axe hypocotylé.

Nous distinguerons deux périodes principales dans l'accroissement, en poids sec, de l'axe hypocotylé :

La 1^{re} période, qui s'étend du début de la germination à la chute des cotylédons.

La 2^e qui commence au moment où les cotylédons tombent, et finit à la maturité.

1^{re} période. — Nous comparerons entre elles, comme nous l'avons déjà fait pour la racine, les moyennes des poids secs d'axes hypocotylés prises tous les trois ou quatre jours.

Première expérience. — Dans une première expérience, après huit jours de végétation, et avant la chute des téguments, l'axe hypocotylé de Lupin pèse, en moyenne, pour 1 gramme de

(1) Les variations de poids de cette partie de la tige suivent une marche si spéciale que nous croyons devoir séparer leur étude de celle de la tige en général.

graine : 0^{gr},090. Sa longueur égale environ 55 centimètres.

Quatre jours plus tard, après douze jours de végétation, cette longueur s'est accrue de 10 centimètres pour la plupart des plantes. L'axe pèse, en moyenne, à cette époque, 0^{gr},130.

Après un nouvel intervalle de deux jours, la croissance de l'axe étant très faible, nous retrouvons ce même poids moyen : 0^{gr},130.

Cinq jours plus tard, après dix-neuf jours de végétation, les axes hypocotylés, qui mesurent en moyenne 70 centimètres, ont cessé de croître. Leur poids moyen égale 0^{gr},165.

Après vingt-huit jours, ce poids, égal à 0^{gr},160, est resté sensiblement invariable. Les cotylédons tombent un ou deux jours après.

2^e expérience. — Dans les mêmes plantes, cultivées à une autre époque, les axes hypocotylés pèsent, en moyenne, pour 1 gramme de graine :

				Longueur moyenne de l'axe.	
Après 17 jours de végétation....	0 ^{gr} ,150	2 feuilles.	50 centim.		
— 21 —	0 ,490	3 —	60 —		
— 26 —	0 ,200	6 —	70 —		
— 35 —	0 ,490	7 —	70 —		

Les cotylédons tombent quelques jours après.

3^e expérience. — Les axes hypocotylés pèsent ici, en moyenne, pour 1 gramme de graine :

				Longueur moyenne de l'axe.	
Après 41 jours de végétation....	0 ^{gr} ,387	6 feuilles.	40 centim.		
— 45 —	0 ,460	7 —	45 —		
— 47 —	0 ,440	7 —	45 —		

Les cotylédons tombent le quarante-huitième jour.

Ainsi, dans toutes ces expériences, nous constatons, jusqu'au moment de la chute des cotylédons :

Pendant la croissance de l'axe, une augmentation rapide de substance sèche, un gain moyen par jour de 0^{gr},010.

Après l'arrêt de croissance, un arrêt analogue dans le gain du poids sec. Il y aurait plutôt une légère tendance à la diminution de ce poids.

L'axe hypocotylé, après un accroissement en poids qui paraît d'abord assez régulier, gagne donc ensuite de moins en moins, vers la fin de sa croissance. La fin de son accroissement en poids coïncide avec la fin de sa croissance.

2^e période. — Reprenons maintenant la suite de la troisième expérience.

Après quarante-sept jours, nous avons vu que le poids moyen de l'axe, pour 1 gramme de graine, était de 0^{gr},440.

Le quarante-huitième jour les cotylédons sont tombés. Si alors, le quarante-neuvième jour, nous pesons de nouveau les axes hypocotylés desséchés, nous trouvons, comme poids moyen, toujours pour 1 gramme de graine, 0^{gr},170.

Quatre jours plus tard, nous retrouvons encore ce même poids moyen 0^{gr},170; de même après quatre autres jours. A cette dernière époque, la plupart des plantes portent dix feuilles.

Ainsi, immédiatement après la chute des cotylédons, l'axe hypocotylé éprouve une diminution de poids sec considérable.

Dans une autre expérience, faite à une autre époque, nous avons comparé, le même jour, les poids secs des axes hypocotylés de deux plantes.

Dans l'une de ces plantes, les cotylédons sont encore adhérents à la tige, le poids de l'axe pour 1 gramme de graine égale 0^{gr},165.

L'autre plante porte dix feuilles, comme la précédente, mais les cotylédons sont tombés la veille. Le poids de l'axe est ici de 0^{gr},078.

Comme dans les expériences précédentes, ce poids a donc, en un jour, diminué de moitié environ, dès que les cotylédons ont été tombés.

La première expérience nous a montré en outre que ce nouveau poids est resté le même du quarante-neuvième au cinquante-septième jour. Il est, en effet, constamment égal pendant ces huit jours, à 0^{gr},170 environ.

Le soixante-sixième jour, les fleurs sont sur le point d'apparaître dans la plupart des plantes. Le poids sec moyen de l'axe est de 0^{gr},139.

Dans une plante où les fleurs sont plus visibles, ce poids sec n'est que de 0^{gr},096.

Le soixante-douzième jour, les fleurs se développent; l'axe pèse, desséché : dans une plante, 0^{gr},099; et, dans une autre, 0^{gr},070.

Il y a donc eu au début de la floraison une nouvelle diminution de poids sec.

Après soixante-dix-huit jours, quelques fleurs se fanent, d'autres sont encore ouvertes. Le poids sec moyen des axes hypocotylés de plusieurs plantes est de 0^{gr},200.

Après quatre-vingt-trois jours, de nouvelles ramifications florales apparaissent. Le poids moyen de l'axe est de 0^{gr},170.

Enfin, le cent-quatorzième jour, deux plantes ont été étudiées. L'une porte des fleurs non encore ouvertes, l'axe pèse sec : 0^{gr},190. L'autre a terminé sa seconde floraison, et les fruits mûrissent; l'axe pèse : 0^{gr},270.

D'après ces diverses observations, le poids sec de l'axe hypocotylé serait bien plus grand pendant la maturation qu'au début de la floraison. Ce poids, qui a diminué pendant l'épanouissement floral, augmente de nouveau quand les fleurs se sont épanouies. Rappelons que nous avons constaté le même fait pour les racines qui perdent en poids pendant l'épanouissement floral.

Dans une autre série de cultures, les plantes sont observées après soixante-huit jours de végétation.

Dans l'une les fleurs apparaissent; le poids sec de l'axe hypocotylé, pour 1 gramme de graine, est de 0^{gr},123.

Dans l'autre les fleurs sont déjà ouvertes depuis quelque jours; l'axe pèse : 0^{gr},202.

Il y a donc encore ici une différence assez grande entre les poids secs de l'axe avant et après l'épanouissement floral.

Les plantes d'une troisième série de cultures commencent à fleurir après soixante et un jours de végétation.

Du trente-huitième au soixante et unième jour, le poids sec moyen des axes hypocotylés a été de 0^{gr},155.

Le soixante et unième jour le poids sec moyen des axes a été

déterminé : dans les plantes où les fleurs ne sont pas encore apparues et dans celles où les fleurs sont déjà visibles.

Dans les premières, le poids moyen a été de 0^{gr},150.

Dans les secondes, le poids moyen a été de 0^{gr},140.

La différence est moindre que précédemment, mais elle s'est produite dans le même sens.

Des expériences faites sur le Sarrasin nous ont donné, d'autre part, pour poids secs moyens des axes hypocotylés, rapportés à 1 grammé de graine :

Après 25 jours.....	4 ^{gr} ,230	2 feuilles.
— 33 —	4 ,500	Les fleurs apparaissent.
— 41 —	4 ,280	Les fleurs s'épanouissent.

Nous constatons donc ici encore une perte légère. Les variations de poids après l'épanouissement floral ont été encore observées dans une troisième série de cultures :

Les plantes de cette série ont fleuri après cinquante-six jours de végétation.

Dans l'une, les fleurs sont encore fermées ; le poids sec de l'axe est égal à 0^{gr},136. Dans l'autre, les fleurs s'ouvrent ; le poids sec de l'axe est égal à 0^{gr},170.

Treize jours après, quelques fleurs commencent à se faner. Le poids sec de l'axe est, en moyenne, de 0^{gr},340. Il y a donc eu gain énorme depuis l'épanouissement floral.

On voit en résumé, par ces diverses expériences, que, dans l'axe hypocotylé :

La substance sèche diminue brusquement au moment de la chute des cotylédons.

Elle varie peu ensuite depuis ce moment jusqu'à l'apparition des fleurs.

Quand les fleurs apparaissent et se développent, il y a en général perte de poids plus ou moins considérable.

Après l'épanouissement floral, il se produit un nouveau gain de substance sèche jusqu'à la maturation.

Le poids est ensuite assez variable et, comme nous l'avons fait observer pour les racines, dépend en même temps du développement de nouveaux organes.

Rapports des variations de la substance sèche dans l'axe hypocotylé et les cotylédons. — Dans toutes les expériences précédentes sur le poids sec de l'axe et celui des cotylédons, nous n'avons donné que la moyenne des nombres le plus souvent obtenus.

A plusieurs reprises, pourtant, en dehors de ces résultats, nous avons constaté, pour les axes hypocotylés de plantes normalement développées, des poids secs si différents de la moyenne, que nous nous sommes préoccupé d'en rechercher la cause.

Or nous avons remarqué une coïncidence constante, dans cette irrégularité de poids, entre les cotylédons et l'axe hypocotylé de la même plante.

Ainsi à une époque où le poids sec moyen de l'axe est de 0^{gr},195 environ pour 1 gramme de graine, l'axe hypocotylé d'une plante, rapporté au même poids de graine, pèse 0^{gr},405. Or les cotylédons de cette seconde plante ne pèsent que 0^{gr},145 et le poids moyen des cotylédons est, à cette époque, de 0^{gr},340.

Ainsi, tandis que l'axe a un poids très supérieur à la moyenne, les cotylédons pèsent notablement moins que cette moyenne. Si nous considérons maintenant l'ensemble des poids secs de l'axe et des cotylédons dans chacune des plantes, nous voyons que ces deux poids sont sensiblement comparables.

L'axe et les cotylédons de la première plante pèsent ensemble 0^{gr},530; l'axe et les cotylédons de la seconde plante pèsent ensemble 0^{gr},550.

Sur d'autres plantes prises à d'autres époques, nous trouvons pour 1 gramme de graine :

	Poids sec de l'axe.	Poids sec des cotylédons.	Poids total.
1 ^{re} plante.....	0 ^{gr} ,205	0 ^{gr} ,365	0 ^{gr} ,570
2 ^e —	0 ,155	0 ,405	0 ,560
1 ^{re} plante.....	0 ^{gr} ,210	0 ^{gr} ,270	0 ^{gr} ,480
2 ^e —	0 ,180	0 ,300	0 ,480
1 ^{re} plante.....	0 ^{gr} ,420	0 ^{gr} ,225	0 ^{gr} ,645
2 ^e —	0 ,460	0 ,205	0 ,670
1 ^{re} plante.....	0 ^{gr} ,210	0 ^{gr} ,195	0 ^{gr} ,405
2 ^e —	0 ,125	0 ,280	0 ,405

Il y a donc relation étroite entre l'axe hypocotylé et les

cotylédons. Cette relation nous semble s'expliquer de la manière suivante :

L'axe, en se développant, appelle une quantité déterminée de la substance des cotylédons, mais, en dehors de ce cas normal, il arrive souvent que la substance se répartit, en quelque sorte, indifféremment dans les deux organes. L'un et l'autre servent alors de lieux de réserve, d'où les matières élaborées se rendent dans les autres membres de la plante.

Peut-être même, à l'état normal, doit-on considérer l'axe hypocotylé comme un organe de réserve. Deux faits nous semblent d'accord avec cette manière de voir. Le premier est constaté par Sachs : l'amidon qui, en règle générale, disparaît quand un entre-nœud se développe, persiste dans l'axe hypocotylé comme dans les cotylédons. D'autre part nous avons vu que, en même temps que les cotylédons tombent, une grande partie de la substance contenue dans l'axe disparaît, entraînée vers un autre point de la plante. Il semble donc que, pendant la vie des cotylédons, l'axe hypocotylé ne soit qu'une dépendance de ces organes.

C'est seulement après la mort de ceux-ci qu'il se comporte comme une tige, du moins au point de vue de sa substance sèche.

2. — Variations, avec l'âge, du carbone et des sels.

L'axe hypocotylé se comporte, pendant les premiers temps de la végétation, comme un organe de réserve ; puis, après la chute des cotylédons, il n'est plus, en somme, qu'une partie de la tige. Pendant la première période, il n'y a donc pas lieu, comme nous l'avons déjà fait remarquer pour les cotylédons, de suivre ces variations. L'étude de la seconde période, d'autre part, rentrera dans celle de la tige examinée à ce point de vue.

3. — Variation, avec l'âge, de la quantité d'eau de l'axe hypocotylé.

Reprenons les expériences précédentes, en considérant, non

plus la substance sèche, mais le poids frais de l'axe hypocotylé aux mêmes époques de développement.

Si nous comparons, dans une de ces séries de cultures, la quantité d'eau à la quantité de substance sèche, nous trouvons, pour le rapport de la première à la seconde, en moyenne :

			Poids sec.
Après 8 jours de végétation.....	10		0 ^{gr} ,090
— 12 —	13		0 ,130
— 14 —	15		0 ,130
— 19 —	15		0 ,180
— 28 —	16		0 ,160

Les cotylédons tombent.

Ainsi, comme pour la racine, la quantité d'eau est allée d'abord en augmentant, en même temps que la substance sèche, mais plus rapidement que celle-ci, puisque la proportion elle-même s'est élevée.

Quand la substance sèche a diminué, un peu avant la chute des cotylédons, cette proportion est encore devenue un peu plus forte; mais si nous comparons alors, non plus le rapport, mais la quantité d'eau totale, nous voyons que cette quantité égale en moyenne, pour les axes d'un gramme de graine :

Après 19 jours.....	2 ^{gr} ,350
— 28 —	2 ,300

L'eau a donc diminué comme la substance sèche, mais moins rapidement.

Une autre expérience, suivie jusqu'à la chute des cotylédons, donne les résultats suivants :

Nombre de jours de végétation.	Rapport du poids d'eau au poids sec.	Quantité d'eau totale.	Poids sec.
17	13	1 ^{gr} ,970	0 ^{gr} ,150
21	15	2 ,940	0 ,190
26	16	3 ,200	0 ,200
35	17	3 ,230	0 ,190

Les cotylédons tombent quelques jours après. Nous voyons que la quantité totale d'eau est restée à peu près constante vers la fin

de l'expérience, comme la substance sèche, qui a très peu varié.

Quelques jours après, deux lots de plantes ont été comparés.

Dans les uns, les cotylédons ne sont pas encore tombés. Le rapport du poids d'eau de l'axe au poids sec est égal à 18. Le poids absolu d'eau est égal à 2^{gr},920.

Dans les autres, les cotylédons sont tombés. Le rapport du poids d'eau de l'axe au poids sec est égal à 17. Le poids absolu d'eau est de 1^{gr},294, pour les axes d'un gramme de graine.

Ainsi, l'eau suit, mais dans des proportions différentes, les variations de la substance sèche.

Ajoutons que, dans les cas anormaux où la quantité de substance sèche augmente considérablement dans l'axe, la quantité d'eau augmente aussi, de manière à rétablir la proportion normale. Il en est de même dans les cotylédons, où l'eau diminue alors avec la substance sèche.

Ainsi, dans l'expérience citée plus haut, les axes hypocotylés de deux plantes prises en même temps pèsent, l'un 0^{gr},195, et l'autre 0^{gr},405. Dans les deux, cependant, la proportion d'eau est égale à 15.

De même, tandis que les cotylédons du premier, qui renferment plus de substance sèche, contiennent, pour 1 gramme de graine, 3^{gr},340 d'eau, les cotylédons du second n'en contiennent que 1^{gr},305.

Le fait mérite d'être signalé. Il est, en effet, contraire à ce qui se produit quand la substance sèche des cotylédons disparaît normalement. La quantité d'eau reste alors presque constante, comme nous l'avons vu.

Reprenons maintenant l'étude des variations normales de la proportion d'eau dans l'axe hypocotylé.

Depuis la chute des cotylédons jusqu'à la floraison, cette proportion d'eau va en diminuant légèrement. Égale à 16 environ au moment où les cotylédons tombent, elle n'est plus que de 11, en moyenne, au moment où les fleurs vont apparaître. La quantité totale d'eau elle-même a donc diminué, puisque, pendant ce temps, la substance sèche a peu varié.

Mais, dès que les fleurs apparaissent, nous savons que cette

substance sèche diminue. Si nous suivons alors les variations de la quantité d'eau, nous obtenons les résultats suivants :

Jours de végétation.	Rapport du poids d'eau au poids sec.	Poids absolu d'eau.	Poids sec.
57	10 *	1 ^{er} ,700	0 ^{es} ,170
66	11	1 ,529	0 ,139 Fleurs.
72	12,5	1 ,250	0 ,100
78	8	1 ,680	0 ,210 Fin de la floraison.
83	10,5	1 ,890	0 ,180
114	12	2 ,220	0 ,185

Ainsi, après comme avant la chute des cotylédons, le poids total d'eau suit les variations de la substance sèche. Il diminue comme celle-ci, du début de la floraison jusqu'à l'épanouissement floral, mais moins rapidement.

Après l'épanouissement, il augmente moins rapidement d'abord, puisque sa proportion n'est plus que de 8 environ, mais il continue ensuite à augmenter, tandis que la substance sèche diminue.

Dans une autre série de cultures, deux plantes sont prises à la même époque.

Dans l'une, les fleurs apparaissent. Le rapport du poids d'eau au poids sec est égal à 15; le poids absolu de l'eau, pour les axes d'un gramme de graine, est de 1^{er},845. Dans l'autre, les fleurs sont épanouies depuis deux jours. Le rapport du poids d'eau au poids sec est égal à 11. Le poids absolu de l'eau est de 2^{es},240.

Les plantes d'une troisième série de cultures sont prises à une période de végétation un peu plus avancée.

Dans les unes, quelques fleurs commencent à se faner. Le rapport du poids d'eau au poids sec est égal à 7. Le poids absolu d'eau est de 2^{es},415. Dans les autres, toutes les fleurs sont fanées, et les fruits mûrissent. Le rapport du poids d'eau au poids sec est égal à 16. Le poids absolu d'eau est de 2^{es},320. Dix jours plus tard, ce poids d'eau est, en moyenne, de 2^{es},700.

Toutes ces expériences comparatives concordent donc avec les précédentes.

De même, pour le Sarrasin, nous avons obtenu, au moment de

l'apparition des fleurs, un rapport moyen du poids d'eau au poids sec, égal à 12 environ. Ce rapport n'était plus que de 8 au moment de la floraison.

En résumé, dans l'axe hypocotylé :

Pendant la croissance de cet axe, la substance sèche augmente, ainsi que la quantité d'eau, mais celle-ci plus rapidement.

Depuis la fin de la croissance de l'axe jusqu'à la chute des cotylédons, la substance sèche varie peu ; la quantité d'eau augmente encore, mais de moins en moins.

A la chute des cotylédons, l'eau et la substance sèche diminuent.

A la floraison, la substance sèche varie peu, mais la quantité d'eau diminue.

Pendant que les fleurs se développent, la quantité de substance sèche et la quantité d'eau diminuent, mais cette dernière bien moins rapidement que la première.

A la fin de la floraison, la substance sèche et l'eau augmentent, mais la substance sèche plus rapidement que l'eau.

Pendant la maturation, la quantité d'eau s'accroît au contraire plus rapidement que le poids sec.

IV. — TIGE ET FEUILLES.

Dans les différentes parties de la plante, dont nous avons déjà suivi les variations de poids, nous avons constaté que ce poids augmente ou diminue suivant la période de végétation observée. Mais nous ignorons jusqu'ici s'il y a, dans tous ces cas, gain ou perte pour la totalité de la plante, ou s'il se produit seulement un simple déplacement de substances. L'étude des parties situées au-dessus des cotylédons, outre les renseignements particuliers qu'elle peut fournir, nous permettra, en complétant les résultats, de résoudre cette question.

1. — Variations, avec l'âge, de la substance sèche de la tige et des feuilles.

Depuis l'apparition de la gemmule jusqu'au moment qui

précède la chute des cotylédons, la marche de la substance sèche, dans la tige et les feuilles, ne présente qu'un faible intérêt.

Cette marche varie, en effet, avec les conditions d'assimilation, et il est de toute évidence que si ces conditions restent invariables, le développement foliaire augmentant sans cesse, le gain de substance sèche augmentera avec lui.

Le fait peut, d'ailleurs, être rapidement prouvé par quelques exemples.

Dans des Lupins, après huit jours de végétation, le tégument tombe. Le poids de la gemmule, très grand par rapport au poids frais, est très variable et peut difficilement être précisé.

Quatre jours plus tard, la gemmule porte deux feuilles. Son poids moyen, pour 1 gramme de graine, est alors de 0^{gr},094.

Deux jours après, la tige ne s'élève pas encore sensiblement au-dessus des cotylédons, mais trois feuilles sont développées, et leur ensemble pèse 0^{gr},165 pour 1 gramme de graine.

Enfin, après vingt-huit jours de végétation, les cotylédons sont sur le point de tomber. La tige porte six feuilles. Le poids moyen de la tige et des feuilles est de 0^{gr},490.

Sur d'autres cultures, ce poids moyen égale :

Après 17 jours.....	0 ^{gr} ,140	2	feuilles.
— 21 —	0 ,205	3	—
— 26 —	0 ,400	7	—

Le poids sec a donc, dans les deux cas, constamment augmenté.

Cette augmentation est due à la fois à l'assimilation et à la migration, vers la tige, des substances des cotylédons.

Nous savons qu'au moment de la chute des cotylédons la marche de l'accroissement en poids se modifie dans les racines et dans l'axe hypocotylé. Il est donc intéressant de rechercher s'il se produit dans la tige et les feuilles des changements correspondants.

Après quatre jours de végétation, des Lupins portent, la plupart, six feuilles. Les cotylédons ne sont pas encore tombés.

L'ensemble des parties épicotylées pèse, en moyenne, pour 1 gramme de graine, 0^{gr},580.

Quatre jours plus tard, les cotylédons tiennent encore. Le poids moyen de la tige et des feuilles est de 0^{gr},670. Il y a donc eu, pendant ces quatre jours, un gain de 0^{gr},090.

Les cotylédons tombent le quarante-huitième jour. Le quarante-neuvième, les plantes ne portent encore que sept feuilles, en moyenne, comme le quarante et unième jour. L'ensemble de la tige et des feuilles pèse, pour 1 gramme de graine, 0^{gr},870. Pendant ces quatre nouveaux jours, le gain a, par suite, été, pour la tige et les feuilles, de 0^{gr},200.

Il est donc bien plus considérable que pendant les quatre jours précédents, bien que les feuilles se soient peu développées.

Or nous avons vu précédemment que, pendant cette même période, l'axe a perdu une notable quantité de substance sèche, et que le poids sec des racines a peu varié. Le gain de la tige et des feuilles est donc dû surtout à la substance de l'axe hypocotylé qui, aussitôt après la chute des cotylédons, s'est répandue vers le haut de la plante.

Deux plantes sont prises à la même période de végétation, dans une autre série de cultures.

Les cotylédons de l'une sont tombés. Le poids égale :

Pour l'axe.....	0 ^{gr} ,078	
— la tige.....	0 ,463	} 0 ^{gr} ,500
— les feuilles.....	0 ,337	

Les cotylédons de l'autre ne sont pas encore tombés.

Le poids sec égale :

Pour l'axe.....	0 ^{gr} ,465	
— la tige.....	0 ,089	} 0 ^{gr} ,457
— les feuilles.....	0 ,368	

Ainsi l'axe hypocotylé de cette dernière plante qui a encore ses cotylédons pèse plus, mais l'ensemble de la tige et des feuilles pèse moins que les parties correspondantes de l'autre plante, dont les cotylédons sont tombés. On voit de plus que le gain de la première plante s'est produit surtout dans la tige.

Il y a donc, au moment où les cotylédons tombent, migration rapide de substances, du bas de la tige vers le haut.

Après cette nouvelle répartition, l'accroissement en poids continue dans la tige et dans les feuilles, en même temps que d'autres feuilles apparaissent.

Nous résumerons, pour plus de clarté, dans le tableau suivant les résultats obtenus :

Jours de végétation.	Poids des parties épicotylées.	Gain par jour.	Poids total de la plante.	
49	0 ^{gr} ,870	»	1 ^{gr} ,700	Cotylédons tombés. 7 feuilles.
57	0 ,990	0 ^{gr} ,015	1 ,870	10 feuilles.
66	1 ,130	0 ,015	2 ,030	13 —
72	1 ,240	0 ,018	1 ,950	Début de la floraison.
78	2 ,000	0 ,120	3 ,270	Fin de la floraison et début de la maturation.
83	2 ,190	0 ,040	4 ,070	Nouvelles ramifications florales.

Ainsi, depuis la chute des cotylédons jusqu'au début de la floraison, le poids sec augmente dans la tige et dans les feuilles, comme dans la totalité de la plante. Nous avons déjà observé le même fait dans la racine.

Mais, au début de la floraison, tandis que les racines diminuent de poids, la tige et les feuilles continuent à augmenter. Il y a donc, de nouveau, forte migration de substances.

Toutefois nous n'observons pas ici, comme au moment de la chute des cotylédons, une augmentation de poids dans le haut de la tige, proportionnelle à la perte des parties inférieures; de plus, si nous considérons la totalité de la plante, nous constatons que du soixante-sixième au soixante-douzième jour, son poids non seulement a peu varié, mais même tend à diminuer.

Il y a donc, en même temps que migration de substances des parties inférieures vers le haut de la plante, perte rapide de ces substances.

Cette perte, comme nous l'avons déjà fait remarquer, ne peut être évidemment produite que par les fleurs, dont le développement est accompagné d'une forte respiration.

Quand l'épanouissement floral est terminé, le tableau précédent montre que la tige et les feuilles, comme du reste toute la plante, gagnent en poids avec une grande rapidité. C'est le début de la maturation.

Pendant cette maturation, de nouvelles ramifications se développent. Le poids sec de la tige et des feuilles devient alors très variable suivant les plantes et le nombre de leurs ramifications. L'assimilation continuant, ce poids, de même que celui des racines, est d'autant plus fort que le nombre des ramifications développées est plus grand.

En résumé, dans la tige et dans les feuilles :

Le poids sec s'accroît depuis l'apparition de la gemmule jusqu'à la maturation.

Cet accroissement en poids présente :

Un maximum au moment de la chute des cotylédons ;

Un autre maximum au début de la maturation ;

Un minimum au début de la floraison.

2. — Variations, avec l'âge, du carbone et des substances minérales dans la tige et les feuilles.

Nous donnons ci-contre, sous forme de tableau, comme nous l'avons déjà fait pour les racines, la moyenne des résultats obtenus en suivant ces variations sur le Lupin.

Nous déterminons, après chaque expérience, le gain par jour du carbone, des sels et de toute la substance, depuis le moment de la précédente expérience. Nous comparons ensuite, en établissant le rapport, le gain du carbone, puis celui des sels, au gain sec total.

On voit, par les deux premières expériences, que le gain par jour, pour toute la substance sèche, comme pour le carbone et les sels, a été presque égal, du développement de la deuxième à celui de la quatrième feuille, et du développement de la troisième à celui de la sixième feuille. Toute la substance sèche d'une part, le carbone et les sels de l'autre, se sont accrus environ dans la même proportion.

Quand les cotylédons tombent, la troisième expérience montre qu'il y a surtout accroissement de la quantité des cendres. Les sels représentent presque le cinquième du gain. Les jours suivants, l'augmentation du poids sec est moindre, comme nous

JOURS de VÉGÉTATION	POIDS SEC TOTAL pour 1 gr. de graine.	POIDS		GAIN PAR JOUR			RAPPORT AU GAIN SEC TOTAL.		OBSERVATIONS.
		du carbone.	des sels.	de la sub- stance sèche.	du carbone.	des sels.	du gain du carbone.	du gain des sels.	
	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	
1 ^{re} EXPÉRIENCE.									
12.....	0,094	0,039	0,007	„	„	„	„	„	2 feuilles.
19.....	0,475	0,221	0,035	0,034	0,026	0,004	0,300	0,074	4 —
2 ^e EXPÉRIENCE.									
21.....	0,205	0,086	0,011	„	„	„	„	„	3 feuilles.
26.....	0,462	0,231	0,034	0,051	0,029	0,004	0,360	0,078	6 —
3 ^e EXPÉRIENCE.									
41.....	0,370	0,249	0,057	„	„	„	„	„	7 feuilles.
49.....	0,830	0,343	0,063	0,032	0,012	0,0075	0,375	0,234	Les cotylédons sont tombés.
57.....	0,970	0,400	0,080	0,017	0,011	0,002	0,640	0,120	7 feuilles.
66.....	1,430	0,437	0,190	0,017	0,004	0,012	0,250	0,700	13 —
72.....	1,240	0,496	0,200	0,018	0,009	0,0016	0,300	0,100	Les fleurs apparaissent.
78.....	2,037	0,927	0,326	0,130	0,070	0,021	0,540	0,160	Quelques fleurs se fanent.

l'avons vu plus haut, mais le gain est ici surtout représenté par du carbone.

Avant l'apparition des fleurs, les substances minérales, qui entrent abondamment dans la plante, puisque le gain par jour est de 0^{gr},017 pour les tiges d'un gramme de graine, forment de nouveau la plus grande partie de l'accroissement en poids.

Au début de la floraison, le gain du carbone reste à peu près le même que les jours précédents, mais la quantité de sels augmente à peine.

Cette quantité de sels redevient au contraire très forte, ainsi que celle du carbone, à la fin de la floraison.

En résumé, dans la tige et les feuilles :

Le gain par jour du carbone suit les variations de la substance sèche totale, jusqu'à la chute des cotylédons.

Après la chute des cotylédons, il reste quelque temps constant, et s'affaiblit avant l'apparition des fleurs.

Il atteint un maximum au début de la maturation.

Le gain par jour des cendres suit les variations de la substance sèche jusqu'à la chute des cotylédons.

Il présente :

Un maximum au moment de la chute des cotylédons ;

Un autre maximum avant la floraison ;

Un minimum perdant cette floraison ;

Enfin un nouveau maximum au début de la maturation.

3. — Variations, avec l'âge, de la quantité d'eau des tiges et des feuilles.

Nous suivrons les variations de la quantité d'eau :

1° Dans la tige principale et ses feuilles ;

2° Dans les ramifications qui se développent après la floraison.

1° *Tige principale et ses feuilles.* — Aussitôt après l'apparition de la gemmule entre les cotylédons, la proportion d'eau, d'ailleurs assez variable, est en général très faible, comme dans tous les organes jeunes. Souvent, en effet, le poids frais égale à peine

trois fois le poids sec, mais, dès que les feuilles s'allongent, la quantité d'eau augmente rapidement.

Pour les Lupins, par exemple, quatre jours après la chute des cotylédons, quand la plante porte deux feuilles bien développées, le poids de l'eau est, en moyenne, sept fois plus grand que le poids sec.

Nous savons que, jusqu'à la chute des cotylédons, le poids sec de la tige et des feuilles augmente constamment. Comme précédemment pour les racines, leur quantité d'eau augmente en même temps, mais plus rapidement. Le rapport du poids de l'eau au poids sec égale en moyenne :

Après 12 jours.....	7	2 feuilles.
— 14 —	9	3 —
— 19 —	11	4 —
— 28 —	13	6 —

Le vingt-neuvième jour, les cotylédons tombent. Aussitôt après, ce rapport n'est plus que de 11.

De même, dans une autre expérience, ce rapport du poids d'eau au poids sec égale :

Après 45 jours...	12.	6 feuilles.	Les cotylédons tiennent encore.
— 49 — ...	9.	6 —	Les cotylédons sont tombés.
— 53 — ...	9.	10 —	

Il y a donc, au moment de la chute des cotylédons, diminution dans la proportion d'eau de la tige et des feuilles. Néanmoins, nous avons pu constater que, dans tous ces cas, la quantité totale d'eau a constamment augmenté ; elle a seulement augmenté moins rapidement que la substance sèche, comme nous avons déjà eu l'occasion d'observer le fait.

Si nous continuons à suivre ce rapport, nous voyons qu'il devient :

Après 66 jours....	14.	Les fleurs vont apparaître.
— 68 —	15.	Les fleurs apparaissent.
— 72 —	15,7.	Les fleurs se développent.
— 78 —	11.	Fin de la floraison.
— 83 —	13.	Commencement de la maturation.

Nous pourrions encore citer d'autres exemples, comparer entre

Ainsi dans une plante qui porte quatre ramifications, le rapport du poids de l'eau au poids sec égale :

12,8 dans la tige de la 1^{re} ramification, qui porte des fruits.

12,5 — 2^e — qui fleurit.

12,0 — 3^e — —

Ces différentes parties, arrivées pourtant à des périodes diverses de développement, sont donc absolument comparables entre elles.

Si nous comparons de même les proportions d'eau des feuilles de ces trois ramifications, nous trouvons que, pour toutes, le rapport du poids d'eau au poids sec se rapproche sensiblement de 7.

Les diverses ramifications d'une plante renferment donc en général une proportion d'eau moindre que la tige principale et ses feuilles à la même époque.

Toutes ces ramifications présentent au contraire entre elles, malgré leurs états différents de développement, une proportion d'eau sensiblement égale.

V. — FLEURS ET FRUITS.

Les fleurs des plantes que nous avons étudiées ne nous ont présenté dans les variations de leur poids sec aucune période nettement tranchée. Si l'on a soin de recueillir, à mesure qu'elles tombent, les parties qui, comme les pétales, se dessèchent, on constate, pour la totalité de la fleur, une augmentation de poids continuelle, depuis le début de la floraison jusqu'à la maturité.

Quand les fleurs apparaissent, leur proportion d'eau est voisine, en général, de la proportion d'eau des feuilles du sommet à la même époque.

Pour le Sarrasin, par exemple, au moment où les fleurs se montrent, le rapport de leur poids d'eau au poids sec est de 5 en moyenne. Celui des feuilles du sommet est de 6 environ.

Pour le Lupin, la proportion de l'eau, rapportée au poids sec,

est de 12 dans les fleurs qui apparaissent et de 11 dans les feuilles.

Feuilles et fleurs sont donc alors, à ce point de vue, sensiblement comparables.

Mais, quand les fleurs se développent et s'ouvrent, la quantité d'eau augmente rapidement.

Au moment de l'épanouissement, elle est, en moyenne, dans les fleurs de Lupin, 14 fois plus forte que le poids sec.

Quelques jours après, au contraire, quand les fleurs ont terminé leur développement, le poids d'eau n'égale plus environ que 10 fois le poids sec. Le rapport de ces deux poids tombe même à 9 quand la maturité commence. La substance sèche augmente désormais plus rapidement que l'eau.

Le rapport du poids d'eau au poids sec est, pour les organes floraux du Sarrasin :

Au moment de l'épanouissement.....	6,0
A la fin de la floraison.....	2,0
Au début de la maturation.....	1,2
A la fin de la maturation.....	0,8

Le rapport du poids frais au poids sec est alors à peu près ce qu'il était dans les graines de Sarrasin que nous avons mises à germer.

Si nous comparons, à ces époques de floraison et de maturation, les quantités totales d'eau, nous voyons que cette eau a constamment augmenté.

Il y a donc diminution de la proportion d'eau dans la graine, parce que cette eau augmente moins rapidement que la substance sèche.

La proportion d'eau, dans la fleur, atteint son maximum au moment où cette fleur s'épanouit.

RÉSUMÉ GÉNÉRAL DE LA PREMIÈRE PARTIE.

Marche des variations de poids dans la plante entière, pendant son développement normal.

Nous connaissons maintenant les différents phénomènes qui se produisent, au point de vue qui nous occupe, dans chaque

membre de la plante pris isolément. Nous terminerons la première partie de notre étude, en réunissant tous ces résultats particuliers. Leur ensemble nous montrera la marche des variations de poids, dans la totalité de la plante.

De la germination à la maturation, la plante traverse cinq périodes principales (1) :

1^{re} période (période germinative). — Le tégument n'est pas encore tombé. La plante éprouve une diminution continue de poids sec, due à la respiration et aux différentes transformations chimiques qui se produisent dans les cotylédons. La racine apparaît et s'allonge en augmentant régulièrement de poids sec. L'axe hypocotylé apparaît à son tour et se développe rapidement, en général, d'une façon régulière, comme la racine.

En dehors de ce cas normal, on observe, pour le poids sec de l'axe hypocotylé, de nombreuses variations individuelles; mais il y a le plus souvent, alors, balancement entre la diminution du poids des cotylédons et l'augmentation du poids de l'axe. Il y aurait, en quelque sorte, fréquemment, une répartition indifférente de substances, entre l'axe hypocotylé et les cotylédons.

L'absorption des substances minérales, pendant cette période, est très faible.

2^e période. — Le tégument est tombé, les cotylédons verdissent, et la tige se montre. La diminution du poids sec de la totalité de la plante continue, sous l'influence des transformations chimiques; mais, d'autre part, la fonction chlorophyllienne, intervenant, introduit du carbone dans la plante. Tandis que la perte augmente peu avec le développement, le gain, au contraire, augmente rapidement avec l'accroissement de la surface foliaire. Au bout d'un certain temps, dont la durée varie avec les conditions d'assimilation (lumière, etc.), le gain l'emporte sur la perte, et le poids sec de la plante s'élève alors de plus en plus.

La substance sèche de la racine, après la chute du tégument, s'accroît d'abord très rapidement, puis, dans des proportions

(1) Voir la planche 9 : fig. 1 et fig. 2.

moindres, continue à augmenter jusqu'à la chute des cotylédons. La proportion d'eau devient de plus en plus forte; en d'autres termes, la racine gagne plus rapidement encore en eau qu'en substance sèche.

L'accroissement en poids sec de l'axe hypocotylé, après avoir diminué, s'arrête; la quantité d'eau, au contraire, augmente constamment. Enfin, la tige gagne sans cesse en substance sèche, et, dans des proportions plus grandes, en eau.

Pendant tout ce temps, les cotylédons diminuent de poids sec, tandis que la quantité d'eau qu'ils renferment varie peu, et même tend à augmenter.

La perte de substance des cotylédons est due :

1° A des transformations chimiques; cette perte, dans de très faibles proportions d'ailleurs, augmente avec le développement;

2° A une migration des matières vers les autres parties de la plante; cette perte, très grande pendant la germination, plus grande encore au moment où les premières feuilles se développent, va ensuite en diminuant jusqu'à la chute des cotylédons.

3° *période*. — Les cotylédons viennent de tomber. Le poids sec de la plante s'accroît de plus en plus jusqu'à la floraison.

Aussitôt que les cotylédons tombent, la substance sèche de l'axe diminue brusquement, presque de moitié, ce qui prouve encore une relation étroite entre l'axe hypocotylé et les cotylédons. En même temps, le gain par jour des racines qui, jusqu'alors, s'était sans cesse élevé, s'abaisse momentanément. Dans la tige et les feuilles, au contraire, il se produit une forte augmentation du gain. Il y a donc eu, selon toute vraisemblance, migration de matières du bas de la plante vers le haut.

Dans les racines et dans l'axe hypocotylé, la proportion d'eau atteint, à cette époque, un maximum; elle diminue, par contre, dans la tige et les feuilles. D'une façon générale, d'ailleurs, quand il survient dans un organe une diminution ou une augmentation brusque de substance sèche, la diminution ou l'augmentation correspondante d'eau n'est pas aussi rapide; le rapport primitif du poids d'eau au poids sec ne se rétablit que peu après.

Quand les phénomènes précédents se sont produits, la racine et la tige continuent à s'accroître en poids jusqu'à la floraison. Dans l'axe hypocotylé, la quantité de substance sèche reste sensiblement la même, mais la proportion d'eau diminue sans cesse. Dans les racines et la tige, cette proportion d'eau, après être redevenue à peu près la même qu'avant la chute des cotylédons, augmente, mais très faiblement, jusqu'au début de la floraison.

4^e période. — Les fleurs apparaissent. Les substances minérales, qui sont entrées abondamment dans la plante depuis la chute des cotylédons, et dont l'absorption a atteint son maximum un peu avant la floraison, n'augmentent qu'en faible quantité dans la plante, pendant que les fleurs se développent.

Les racines éprouvent, à cette époque, une diminution non seulement du gain, mais de leur poids même de substance sèche. Il y a donc nouvelle migration de matières vers le haut de la plante. On n'observe cependant pas ici, dans la tige, d'excès de gain correspondant. Souvent même, la totalité de la plante, loin de s'accroître en poids, semble éprouver une diminution dans sa quantité de substance sèche. Cette perte de poids ne peut être due qu'à une forte respiration des fleurs en voie de développement, et la supposition est d'autant plus légitime que, comme le montre l'analyse, le gain en carbone, à cette époque, passe par un minimum.

Dans tous ces cas, l'eau suit encore les variations de la substance sèche, mais toujours dans des proportions différentes, augmentant plus rapidement, et diminuant moins rapidement que celle-ci.

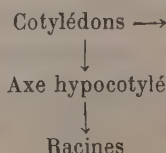
5^e période. — C'est la fin de la floraison et le commencement de la maturation. Dans la racine, la tige et les feuilles, il y a accroissement considérable de poids sec. L'absorption des substances minérales est très active. L'accroissement de la quantité d'eau est maintenant moins rapide que celui de la substance sèche.

Pendant la maturation, les phénomènes sont différents suivant les plantes, et se compliquent souvent du développement de nouveaux organes végétatifs et floraux.

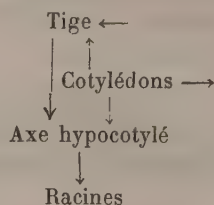
Transport des matières dans les différents membres de la plante.

A un point de vue plus général, dans une plante qui se développe :

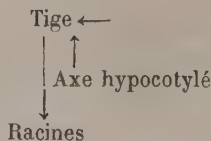
Il y a d'abord simple migration de matières des cotylédons vers les parties hypocotylées. C'est la période germinative, pendant laquelle la plante, non seulement n'assimile pas (car la quantité de sels introduits par la racine est négligeable), mais perd de sa substance sèche par transformations chimiques; ce que nous pouvons indiquer par le schéma suivant où les flèches montrent dans quel sens se fait le transport des substances :



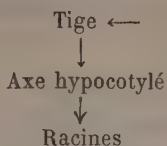
Après la chute des téguments, l'assimilation commence. Les cotylédons abandonnent encore une partie de leur substance aux parties hypocotylées et, de plus, aux parties épicotylées qui se développent. Du carbone s'introduit dans la plante par assimilation chlorophyllienne. En même temps que la première migration, il s'en produit alors une seconde, du haut de la plante vers le bas; ce qu'indique encore le schéma suivant :



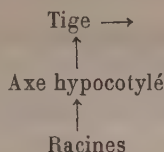
Les cotylédons tombent; la première migration se trouve ainsi supprimée. Il y a, au moment de cette chute des cotylédons, transport rapide de substances de l'axe hypocotylé vers le haut de la plante :



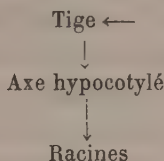
Cette dernière migration n'est que momentanée; il n'y a plus ensuite, jusqu'à la floraison, qu'un courant de matières allant des parties supérieures de la plante vers les parties inférieures :



Pendant tout ce temps, les feuilles empruntent à l'extérieur plus de carbone qu'elles n'en perdent. Quand les fleurs apparaissent, l'acide carbonique rejeté par la plante augmente. La perte tend à annuler le gain, quelquefois à le surpasser. Il y a alors appel de substances du bas de la plante vers le haut; le sens de la migration change donc de nouveau, sous l'influence d'une forte dépense de la plante :



Enfin, quand les fleurs sont développées et quand la maturation commence, les substances cheminent de nouveau du haut de la plante vers le bas :



En outre, depuis la fin de la période germinative, il y a migration bien plus faible, mais continuelle, de substances minérales allant des racines vers le sommet de la plante. Cette migration s'accroît surtout dans la période précédant la floraison et au début de la maturation. Elle semble plus faible pendant la floraison.

DEUXIÈME PARTIE

INFLUENCE DU MILIEU SUR L'ACCROISSEMENT EN POIDS.

Nous avons cherché, jusqu'alors, à isoler autant que possible la part qui revient à l'influence de l'âge dans les variations du poids sec et du poids frais de la plante. Nous avons, dans ce but, placé les plantes dans des conditions telles que, le milieu variant peu, son influence pût être négligée. Il nous reste à reprendre ces expériences en sens inverse, c'est-à-dire à suivre les différences qui se produisent dans deux plantes du même âge soumises à des conditions d'assimilation différentes. La plante assimile du carbone et des sels; cherchons donc, en ne considérant que les cas extrêmes, les modifications qui surviennent :

1° Quand l'assimilation des sels est supprimée (plantes nourries dans l'eau distillée).

2° Quand l'assimilation du carbone est supprimée (plantes vivant à l'obscurité).

Les changements de constitution qui résultent de ces conditions anormales entraînent des modifications morphologiques, dont l'étude ne peut être séparée de celle de leurs causes.

Nous rappellerons rapidement les modifications dues à l'obscurité, qui ont été souvent étudiées ; mais nous insisterons sur celles que produit l'absence de substances minérales. Ces modifications sont bien moins connues, et nous verrons que leur comparaison avec les premières pourra présenter quelque intérêt, quand il s'agira, comme nous nous le proposerons, de rechercher les causes qui les produisent.

I. — INFLUENCE DES SUBSTANCES MINÉRALES SUR L'ACCROISSEMENT EN POIDS ; MODIFICATIONS ANATOMIQUES QUI EN RÉSULTENT.

Le rôle important que les substances minérales jouent dans

la végétation a été mis en lumière dès 1860 par M. Pasteur dans ses études sur la *Levure de bière*, et depuis, encore (1870), par M. Raulin (1), dans un travail étendu sur la nutrition du *Ste-rigmatocystis*. Zoller, d'autre part, a montré que la potasse et la chaux, dans les végétaux supérieurs, ont les rapports les plus intimes avec la formation de la cellulose.

Ces recherches, et bien d'autres, conduisent à penser qu'il se produira dans la plante privée, depuis sa germination, de substances minérales, des modifications considérables.

1° *Dispositif employé*. — Pour suivre ces modifications, des Lupins ont été cultivés, toutes conditions égales d'ailleurs, les uns dans de l'eau distillée, les autres dans la solution de Knop, que nous avons déjà employée précédemment.

Les graines sont mises à germer dans une coupelle entourée d'eau, et recouverte d'une cloche. Lorsque la racine a atteint une certaine longueur, 2 ou 3 centimètres environ, la plante est fixée, suivant le procédé de Sachs, au centre d'un bouchon, qui ferme une éprouvette à pied. Cette éprouvette est remplie soit avec de l'eau distillée, soit avec la solution.

Ces cultures, plusieurs fois reprises, nous ont toujours donné des résultats concordants. Ces résultats intéressent la morphologie et la physiologie de la plante.

2° *Première période de végétation*. — Pendant les premiers temps du développement, il est impossible de distinguer entre elles les plantes qui poussent dans la solution et celles qui poussent dans l'eau distillée.

Dans les deux séries, les cotylédons, bien verts, se développent également et tombent à la même époque. De même, les premières feuilles qui apparaissent ne présentent aucune différence sensible dans la grandeur et la couleur.

Après trente jours de végétation, du 30 avril au 30 mai, toutes ces plantes possédaient encore leurs cotylédons, et portaient huit feuilles. Quatre de ces Lupins ont été desséchés; deux avaient poussé dans la solution, et deux dans l'eau distillée.

(1) Raulin : *Études chimiques sur la végétation* (Ann. des sc. naturelles, 1870).

Le rapport du poids de l'eau de ces plantes à leur poids sec a été trouvé égal à :

	Dans la solution.	Dans l'eau distillée.
Racines.....	16	17
Axe	12	12
Cotylédons.....	12	12
Tige.....	13	13
Feuilles.....	9	9

Ainsi, à part une légère différence dans les racines, la proportion d'eau est la même dans les deux plantes, qui ont, du reste, perdu, puis gagné également en substance sèche.

3° *Deuxième période de végétation.* — Jusqu'alors, les deux séries de plantes sont donc, sous bien des points, comparables. Les différences, si elles existent déjà, sont peu visibles. Ces différences deviennent, au contraire, très accentuées avec la suite du développement. Pour les mieux observer, reprenons les plantes beaucoup plus tard, après soixante jours de végétation par exemple (Planche X).

Les plantes pourvues de sels et les plantes élevées dans l'eau distillée sont alors nettement dissemblables.

Dans l'eau distillée, les entre-nœuds sont *longs* et *grêles* ; la tige atteint en moyenne une hauteur de 22 centimètres.

Dans la solution, au contraire, les entre-nœuds sont *courts* et *épais* ; la tige ne mesure environ que 16 centimètres.

De plus, tandis que les feuilles des plantes nourries de substances minérales sont *larges* mais *jaunâtres*, les feuilles des plantes cultivées dans l'eau pure sont *petites*, mais *très vertes*.

Le nombre des feuilles est du reste le même dans les deux cas.

A ces différences morphologiques correspondent des différences anatomiques.

En coupe transversale, la tige hypocotylée d'une plante élevée dans la solution présente, à cette époque, quatre faisceaux libéro-ligneux distincts. Dans chaque faisceau, les vaisseaux du bois, disposés en files radiales, sont séparés par de nombreuses cellules de parenchyme ligneux.

Dans la plante élevée dans l'eau pure, cette distinction des quatre faisceaux de la tige hypocotylée n'est plus possible. Il y a

ici un anneau libéro-ligneux continu, à vaisseaux plus rares que précédemment, et dont les fibres très serrées laissent à peine apercevoir, çà et là, quelques cellules de parenchyme.

Quant aux épaisseurs relatives de la moelle et de l'écorce, on peut les représenter par les nombres suivants, dont les sommes exprimées en divisions du micromètre oculaire représentent elles-mêmes les épaisseurs relatives des deux tiges hypocotylées à cette époque.

	Dans l'eau distillée.	Dans la solution.
Écorce.....	4.5	11
Bois et liber.....	3.0	3
Moelle.....	6.5	7
	14.0	21

Dans la tige épicotylée, des mesures analogues, prises dans le premier entre-nœud par exemple, donnent :

	Dans l'eau distillée.	Dans la solution.
Écorce.....	4	4
Bois et liber.....	2	2
Moelle.....	8	11
	14	17

Dans cette partie de la plante également, la présence de sels a eu pour résultat de retarder la lignification. Le fait est surtout bien évident dans le péricycle. Ce péricycle, en effet, présente de nombreux paquets de sclérenchyme chez les plantes poussant dans l'eau distillée. Dans l'autre série de plantes, au contraire, on ne trouve aucune trace de ces fibres.

En ce qui concerne la moelle et l'écorce, il serait difficile de déduire une loi quelconque des nombres cités plus haut. Tandis que, dans l'axe hypocotylé, l'épaisseur est due au développement de l'écorce, dans la tige épicotylée elle est produite par le développement de la moelle. Un seul fait s'en dégage donc, qui ressort également de l'examen de la zone libéro-ligneuse, où les cellules sont très nombreuses dans les plantes nourries de sels :

La présence de substances minérales dans la plante est accompagnée d'une production plus grande de parenchyme et d'une formation moindre d'éléments de soutien.

Poursuivons maintenant l'étude de ces diverses modifications dans les feuilles. Ces modifications portent sur le parenchyme en palissade et sur l'épiderme.

Dans les plantes privées de sels, les cellules du parenchyme en palissade sont *petites* mais *nettement palissadiques*; les cellules de l'épiderme ont leurs contours rectilignes, les stomates sont en petit nombre.

Les plantes élevées dans la solution présentent des caractères tout autres. Dans le parenchyme en palissade les cellules sont plus irrégulières et se rapprochent davantage, par leur forme, des cellules de la face inférieure. Dans l'épiderme les cellules ont leurs contours plus sinueux et les stomates sont plus nombreux que chez les plantes pauvres en substances minérales.

Ces faits anatomiques établis, desséchons les plantes, comme précédemment. Le rapport du poids de l'eau au poids sec est alors trouvé égal à :

	Dans la solution.	Dans l'eau distillée.
Racines.....	18	13
Axe.....	12	7
Tige.....	14	11
Feuilles.....	10	8

Ainsi la proportion d'eau est bien moindre dans l'eau distillée que dans la solution. Et cependant il n'y a pas, dans le premier cas, flétrissement de la plante, qui est bien vivante. Un gramme de graine sèche est devenu en effet :

	Dans la solution.		Dans l'eau distillée.
	Racines... 0 ^{gr} ,210		Racines... 0 ^{gr} ,417
4 ^{gr} ,538	Axe 0 ,140	4 ^{gr} ,694	Axe 0 ,178
ainsi réparti :	Cotylédons 0 ,131	ainsi réparti :	Cotylédons 0 ,134
	Tige..... 0 ,219		Tige..... 0 ,215
	Feuilles... 1 ,038		Feuilles... 0 ,750

La différence est donc faible entre les deux séries de plantes. Le retard de croissance des plantes élevées dans l'eau distillée réside surtout dans les feuilles. Quant au gain plus grand des racines, nous l'avons retrouvé dans plusieurs autres expériences sans pouvoir l'expliquer. Du reste nous avons surtout donné les nombres précédents pour montrer que, dans l'ensemble, les

plantes en sont arrivées au même point de végétation et que les résultats donnés plus haut sont comparables. Dans la suite, les plantes privées de sels meurent, en général, sans fleurir, tandis que les autres continuent leur développement.

4^o *Causes de la différence dans la proportion d'eau.* — Comment expliquer maintenant cette différence dans la proportion d'eau de la plante ? Cette différence ne peut être causée que par le ralentissement de la transpiration, ou par l'augmentation de l'absorption dans les plantes pourvues de sels.

Ralentissement de la transpiration. — Bürgerstein a constaté que les solutions retardent toujours la transpiration. Dans le même temps, une plante privée de sels transpire plus qu'une plante qui absorbe une solution nourricière. Le fait a été observé sur un assez grand nombre d'espèces ; il doit donc être rangé parmi les causes de l'accumulation d'eau dans la plante.

J'ajouterai toutefois qu'il ne me semble pas suffisant à expliquer complètement les différences observées. J'ai fait en effet, à ce sujet, plusieurs expériences sur des plantes aussi semblables que possible, mais cultivées, depuis la germination, les unes dans la solution, les autres dans l'eau distillée.

Ces plantes ont été enfermées plusieurs heures, chacune sous une cloche hermétiquement close, dont l'intérieur était continuellement desséché par l'acide sulfurique concentré.

Après quarante-huit heures, les quantités d'eau évaporée ont été :

3 ^{es} , 405	pour la plante de la solution.
3 ,090	— de l'eau distillée.

Plusieurs autres expériences ne m'ont pas donné de différences plus appréciables.

Le ralentissement de la transpiration peut être, et est en effet, une des causes de la grande quantité d'eau renfermée dans la plante pourvue de sels ; il ne m'en semble pas toutefois la cause principale.

Augmentation de l'absorption. — La vraie cause de cette forte proportion d'eau me semble résider surtout dans l'augmentation de l'absorption. Bien que les agents essentiels de la turgescence

soient, comme l'a montré H. de Vries, les acides organiques, il est certain que les sels que nous avons introduits dans la plante attirent aussi et retiennent une certaine quantité d'eau. Le fait peut être prouvé expérimentalement.

A l'époque où nous les avons observées pour la seconde fois, l'analyse montre que les plantes dont les racines plongent dans la solution nourricière renferment environ quatre fois plus de sels que les plantes cultivées dans l'eau distillée.

Les plantes renferment alors environ :

Pourvues de sels....	0 ^{gr} ,400	de sels pour 16 grammes d'eau.
Privées de sels.....	0 ,100	— 16 —

Deux solutions de phosphate de potasse, par exemple, qui est un des sels nourriciers employés, sont faites dans ces proportions. Avec l'une d'elles, on remplit un tube, dont l'une des extrémités, très évasée, est fermée par une membrane perméable, et dont l'autre extrémité est effilée et recourbée. Un autre tube de même calibre, semblablement disposé, est rempli avec la seconde solution. Chacun de ces tubes ainsi rempli plonge, par l'extrémité évasée, dans une cuvette contenant de l'eau.

L'eau, dans laquelle plonge le tube renfermant la solution la plus faible, est distillée. L'eau dans laquelle plonge l'autre tube renferme les mêmes sels que la solution nourricière employée pour nos cultures, et dans les mêmes proportions.

Des phénomènes d'osmose se produisent alors, et l'eau attirée par les sels dans les tubes déjà pleins s'écoule par l'extrémité effilée et recourbée. Cette eau est recueillie, et son volume est mesuré au bout d'un certain temps. Nous constatons alors que la solution la plus forte (en contact avec le liquide de Knop) a attiré une bien plus grande quantité d'eau que la solution faible (en contact avec l'eau distillée). Le rapport des deux volumes d'eau est environ de 5 pour le phosphate de potasse. Il est encore plus grand quand on répète cette expérience avec l'azotate de chaux.

Ces expériences ne reproduisent évidemment que de très loin, et très grossièrement, les phénomènes qui se passent dans la

plante. Elles prouvent néanmoins que, dans les deux séries de cultures observées, les plantes pourvues de sels attirent une plus grande quantité d'eau de la solution nourricière, que les plantes pauvres en sels n'attirent d'eau distillée. Si nous considérons, d'autre part, que les premières plantes, tout en absorbant plus d'eau, en transpirent plutôt moins, nous nous expliquerons aisément pourquoi, à partir du moment où les sels commencent à être abondants dans les plantes, la proportion d'eau devient sensiblement plus grande dans la plante pourvue de sels que dans la plante qui en est privée ainsi.

Les sels, augmentant l'absorption et tendant à diminuer la transpiration, élèvent la proportion d'eau de la plante.

Causes des différences anatomiques observées. — Une plante riche en substances minérales renferme donc en même temps une plus grande proportion d'eau qu'une plante pauvre de ces substances.

Il importe, dès lors, de se demander auquel de ces deux faits concomitants on doit rapporter les différences morphologiques observées dans les deux séries de plantes.

Ces différences, rapidement rappelées, sont :

Quand les sels manquent ou quand l'eau interne diminue :

Dans la tige	{	Lignification plus grande. Vaisseaux moins nombreux.
		Parenchyme moins abondant.
		Tige moins épaisse.
		Entre-nœuds plus longs.
Dans la feuille . .	{	Surface moins grande.
		Coloration plus verte.
		Différence moins marquée entre les cellules des deux faces.
		Parois des cellules épidermiques non ondulées.
		Stomates moins nombreux.

Il est à remarquer que ces variations de structure ont déjà été signalées sous l'influence d'autres conditions.

C'est un fait bien connu, que l'obscurité retarde la lignification et développe le parenchyme.

M. L. Dufour, d'autre part, a montré que :

1° Les feuilles des plantes exposées à l'ombre ont les parois de leurs cellules épidermiques ondulées ;

2° La surface de ces feuilles augmente avec l'humidité du sol.

Enfin, M. Vesque a constaté que, dans l'air humide, les feuilles sont moins ouvertes que dans l'air presque sec, plus pâles (étiolement de couleur), et présentent une différence moindre dans la forme des cellules des deux faces.

Or, dans tous ces cas : obscurité, ombre, humidité de l'air ou du sol, il y a tendance à une proportion d'eau plus grande dans les cellules. Il nous semble, par suite, légitime, en trouvant dans les faits observés la même cause (une plus grande abondance d'eau dans la plante), de lui rapporter les mêmes effets.

Nous reviendrons, du reste, plus longuement sur ce point, après avoir étudié la végétation à l'obscurité.

Pour le moment, nous énoncerons d'une façon générale le fait établi par les exemples précédents :

L'absence de sels modifie notablement la structure de la plante, mais ces modifications paraissent dues en grande partie, moins à l'absence de sels qu'à la diminution d'eau de constitution qui en résulte.

II. — INFLUENCE DE L'OBSCURITÉ SUR L'ACCROISSEMENT EN POIDS.

Historique. — L'étude de la végétation à l'obscurité, envisagée au point de vue des variations du poids sec de la plante, est due surtout à Boussingault (1). Les travaux de ce savant ont montré que, dans la jeune plante, à l'obscurité comme à la lumière, il y a perte de poids.

Cette perte de poids est représentée par une perte de carbone due à la respiration, et par une perte d'hydrogène et d'oxygène, dans les proportions voulues pour former de l'eau.

Mais, tandis qu'à l'obscurité la plante perd continuellement en

(1) Boussingault : *De la végétation dans l'obscurité* (Annales des sciences naturelles, 1874).

poids, à la lumière l'assimilation vient contre-balancer la respiration, et finit par l'emporter. Il y a alors gain, et si l'on compare maintenant les deux plantes, on trouve que :

La perte de la plante à l'obscurité est toujours représentée par du carbone, et de l'hydrogène et de l'oxygène dans les proportions voulues pour former de l'eau.

Le gain de la plante à la lumière est représenté par du carbone, et de l'hydrogène et de l'oxygène, dans le rapport voulu pour former de l'eau.

Godlewski, en 1879 (1), poussa plus loin ces recherches en comparant, non seulement les plantes entières, mais leurs différents membres, à la lumière et à l'obscurité. Mais ses expériences ne portent que sur un temps très court (4-5 jours), et ne fournissent aucun renseignement sur la durée de la végétation à l'obscurité, ni sur les différentes périodes de cette végétation.

Depuis ce temps, aucun travail important sur ces variations de la substance sèche ne semble avoir été publié.

Au contraire, en ce qui concerne les variations de l'eau et les différences morphologiques produites par la présence ou l'absence de lumière, les travaux sont relativement nombreux.

On sait quels sont les caractères morphologiques de la plante étiolée : la tige prend un énorme accroissement, tandis que les feuilles, dans les Dicotylédones du moins, restent très petites.

D'après de Candolle (2), cet allongement exagéré de la tige est dû à un ralentissement de l'assimilation. A la lumière, l'assimilation introduit dans la plante une certaine quantité de carbone, qui durcit les parois cellulaires et les rend plus résistantes à l'allongement.

Telle est aussi l'opinion de Sachs, et c'est en effet, comme nous le verrons, au moins en partie, l'explication rationnelle du phénomène (3).

Kraus (4) a reconnu que les cellules de la tige à l'obscurité

(1) Godlewski : *Zur Kenntniss der Ursachen der Formänderung etiolirter Pflanzen* (Botanische Zeitung, 1879).

(2) De Candolle : *Physiologie végétale*.

(3) Sachs : *Botanische Zeitung*, 1863.

(4) Kraus : *Jahrbücher für Wiss. Bot.*, t. VII.

étaient non seulement plus grandes, mais aussi plus nombreuses. D'après lui, et les expériences de Sorauer confirment le fait, l'allongement de la moelle (ou de l'écorce dans les tiges creuses) est dû à une forte absorption d'eau, qui facilite, dans les tissus, l'interposition de nouvelles particules entre les anciennes.

Mais comment, par contre, expliquer le faible développement des feuilles?

D'après Kraus, les feuilles ne se développent qu'aux dépens des matériaux qu'elles ont assimilés elles-mêmes. L'assimilation faisant défaut à l'obscurité, les feuilles restent petites.

Bataline (1) n'admet pas cette influence de l'assimilation. Il fait remarquer que les feuilles des Monocotylédones prennent à l'obscurité un grand développement, bien qu'elles ne puissent assimiler. Pour lui, la feuille étiolée ne grandit pas, parce que ses cellules ne peuvent se diviser.

Prantl (2), à son tour, montre, par des mesures précises, que la théorie de Bataline est inacceptable, car il a observé, dans les feuilles à l'obscurité, une multiplication cellulaire.

Rauwenhoff, en 1877 (3), sans donner une explication complète du phénomène, fait remarquer que le développement est surtout faible dans les feuilles qui présentent un contraste évident entre leur face supérieure et leur face inférieure. L'arrêt d'accroissement serait un phénomène pathologique dû en partie au défaut d'assimilation, en partie à d'autres actions, tant chimiques que physiques, qui ont de l'influence sur l'accroissement.

Detmer (4) nie cette influence de l'assimilation. Il cultive comparativement des *Raphanus* à l'obscurité et à la lumière, mais dans une atmosphère privée d'acide carbonique. Il trouve que les feuilles sont plus développées à la lumière, bien que la plante n'ait pu assimiler et il en conclut que la cause du faible accroissement des feuilles à l'obscurité réside surtout dans la diminution de la turgescence.

(1) Bataline : *Botanische Zeitung*, 1871.

(2) Prantl : *Arbeiten des Bot. Instituts zu Würzburg*, fasc. III.

(3) Rauwenhoff : *Formes anormales des plantes croissant à l'obscurité* (Ann. des sc. nat., 1877).

(4) Detmer : *Pflanzen physiologie*, 2^e édition.

Les expériences de Wiesner (1) et de H. de Vries (2) ont montré en effet, d'une part, que les acides organiques sont dans les plantes les agents essentiels de la turgescence; d'autre part, que ces acides manquent dans les tiges des Monocotylédones et des Dicotylédones à la lumière, et dans les feuilles des Dicotylédones à l'obscurité, tandis qu'ils sont abondants, à l'obscurité, dans les tiges des Dicotylédones et dans les tiges et les feuilles des Monocotylédones. Il y a donc une concordance bien nette entre le développement des organes et la présence des acides organiques, ou la turgescence qui en résulte, dans ces organes.

Cette influence de l'eau est-elle la seule agissante, et l'assimilation ne joue-t-elle aucun rôle dans les phénomènes en question? C'est ce que nous chercherons à déterminer plus loin, en introduisant un nouvel élément de comparaison dans cette étude. Nous reprendrons auparavant, dans le but de les compléter, les expériences de Boussingault et de Godlewski sur les changements que subit à l'obscurité la constitution de la plante.

1° *Marche générale de la végétation à l'obscurité.* — Une telle végétation, comme l'a fait remarquer Boussingault, durera tant que les matières de réserve de la graine pourront fournir du carbone. La rapidité de la dépense dépendant des conditions externes, la durée de la végétation variera suivant la saison. Il serait donc évidemment impossible de fixer dans le temps la fin de la végétation. Morphologiquement au contraire la limite paraît assez facile à établir.

Pour le Lupin, par exemple, la vie s'arrête environ au moment où la quatrième feuille apparaît. Dans le Sarrazin les deux premières feuilles seules se développent généralement, puis la plante se flétrit et meurt.

Il est à remarquer que les mêmes plantes élevées à la lumière, mais dans un air privé d'acide carbonique, meurent ordinairement à la même période de leur végétation, comme

(1) Wiesner : *Sitzber. d. k. Akademie d. Wiss.*, 1874.

(2) H. de Vries : *Bot. Zeit.*, 1879.

j'ai eu plusieurs fois l'occasion de le constater. C'est donc bien au manque d'assimilation qu'est due la mort de la plante à l'obscurité.

Deux séries d'expériences ont été faites sur le Lupin : l'une aux mois d'avril-mai 1888, l'autre au mois de juin de la même année.

Dans la première expérience, la troisième feuille, à l'obscurité, a atteint son entier développement après vingt-six jours de végétation (21 avril-17 mai).

Dans la seconde expérience, où la saison était plus avancée, cette troisième feuille était développée au bout de dix-huit jours (19 juin-30 juin).

Dans les deux cas, les plantes ont cessé de s'accroître après ce développement de la troisième feuille. Néanmoins elles sont restées fraîches quelques jours encore et ne se sont flétries qu'un certain temps après. Nous décrirons plus loin les phénomènes qu'elles ont présentés pendant cette courte période terminale de la végétation.

D'autres plantes avaient été cultivées en même temps à la lumière, toutes conditions égales d'ailleurs. Elles possédaient :

Dans la 1 ^{re} expérience (17 mai).....	6 ramifications.
— la 2 ^e — (30 juin).....	4 —

A ces deux époques 1 gramme de substance sèche de la graine était devenu

	Plante verte.	Plante étiolée.
1 ^{re} expérience (17 mai).....	1 ^{gr} ,150	0 ^{gr} ,760
2 ^e — (30 juin).....	0 ,970	0 ,730

Ces nombres ne font qu'indiquer les résultats déjà obtenus par Boussingault : la plante, après un certain temps de végétation à l'obscurité, pèse notablement moins qu'à la lumière. Mais cette différence de poids dans les deux cas commence-t-elle dès le début de la germination ?

2^e *Variations du poids sec à l'obscurité, depuis le début de la germination jusqu'à la chute du tégument de la graine.* — Considérons les plantes de la deuxième série d'expériences, qui ont été

mises en germination le 11 juin. Huit jours après, le tégument de la graine n'est pas encore tombé, à la lumière ni à l'obscurité; les différences morphologiques sont pourtant déjà accentuées.

De deux plantes prises à la lumière, l'axe hypocotylé de l'une mesure 0^m,023, celui de l'autre 0^m,035. Dans deux plantes prises à l'obscurité, les deux axes hypocotylés mesurent 0^m,050. Il n'y a pas de racines secondaires, et la racine primaire a à peu près la même longueur dans les deux cas.

Ainsi l'axe hypocotylé est déjà notablement plus long à l'obscurité qu'à la lumière; c'est la seule différence morphologique des deux séries de plantes.

D'autre part l'analyse de deux de ces plantes donne :

		Lumière.		Obscurité.	
Poids sec total	de la plante.....	0 ^{gr} ,884		0 ^{gr} ,877	
	des racines.....	0 ,046	$\left\{ \begin{array}{l} C = 0^{\text{gr}},021 \\ H = 8 ,006 \\ Cend = 0 ,002 \end{array} \right.$	0 ,044	$\left\{ \begin{array}{l} C = 0^{\text{gr}},029(?) \\ H = 0 ,006 \\ Cend = 0 ,003 \end{array} \right.$
	du reste de la plante	0 ,836	$\left\{ \begin{array}{l} C = 0 ,409 \\ H = 0 ,067 \\ Cend = 0 ,044 \end{array} \right.$	0 ,820	$\left\{ \begin{array}{l} C = 0 ,410 \\ H = 0 ,068 \\ Cend = 0 ,044 \end{array} \right.$

Ces nombres, on le voit, sont absolument comparables. La seule différence consiste dans la quantité de carbone des racines et elle est plutôt due à une erreur d'analyse. En effet cette quantité de carbone représenterait les 66 p. 100 du poids de la racine. Cette proportion est anormale; je ne l'ai jamais retrouvée dans aucune analyse de racines, où le carbone varie entre 45 et 50 p. 100. Or, la proportion 50 p. 100 donnera 0^m,022 de carbone.

On peut donc regarder comme absolument semblables, au point de vue de leur constitution élémentaire, deux plantes dont le tégument n'est pas encore tombé, que ces plantes aient végété à la lumière ou à l'obscurité. Il y a eu simple transport de matières, dans l'un et l'autre cas.

Ce transport ne s'est pas, pourtant, effectué de la même façon. Le *reste de la plante* se compose de l'axe hypocotylé et des cotylédons. Analysons séparément ces deux membres.

Nous obtiendrons les nombres suivants :

	Lumière.		Obscurité.	
Poids sec	de l'axe.....	0 ^{gr} ,093	0 ^{gr} ,157	
		C=0 ^{gr} ,039 H=0 ,012 Cend=0 ,007	C=0 ^{gr} ,078 H=0 ,015 Cend=0 ,018	
	des cotylédons et de la gemmule.....	0 ,743	0 ,663	
		C=0 ,370 H=0 ,055 Cend=0 ,037	C=0 ,332 H=0 ,033 Cend=0 ,026	

Ainsi, si le transport des matières, organiques ou inorganiques, a été sensiblement le même dans les deux cas pour les racines, il a été notablement plus grand des cotylédons dans l'axe, à l'obscurité qu'à la lumière, et ce fait concorde avec le développement plus grand de l'axe, à l'obscurité.

Après cette période, qui est la véritable période germinative, puisque la plante ne se développe alors qu'aux dépens de ses réserves, aussi bien à la lumière qu'à l'obscurité, la chute du tégument, en permettant l'assimilation, amène entre les deux séries de plantes soumises à des conditions diverses d'éclaircissement les différences de poids déjà signalées.

Ce sont ces différences que nous allons étudier dans chaque membre de la plante pris séparément, et nous verrons combien elles sont variables suivant l'organe considéré.

3° *Variations de la substance sèche à l'obscurité après la chute du tégument de la graine.*

Cotylédons. — Nous venons de voir que, même avant la chute du tégument de la graine, le poids sec des cotylédons est moindre à l'obscurité qu'à la lumière et que cette différence est due au développement exagéré de l'axe hypocotylé dans la plante étiolée.

Mais en même temps, dans les deux cas, il y a une diminution de poids des cotylédons due à la respiration, et cette diminution est la même à la lumière et à l'obscurité puisque les deux plantes, prises en totalité, pèsent le même poids.

Après la chute des téguments il ne doit plus en être de même. Tandis, en effet, que cette chute n'apporte aucune modification dans les cotylédons étiolés, à la lumière, au contraire, les cotylédons, dont le tégument empêchait jusqu'alors le verdissement,

croissent et se développent. En même temps que perte de matière, due à la respiration, il doit y avoir gain dû à l'assimilation. Les différences de poids déjà observées plus haut entre les cotylédons à la lumière et à l'obscurité doivent donc s'accroître, puisque non seulement les premiers fournissent moins de matériaux à l'axe hypocotylé, mais peuvent gagner encore en poids, d'un autre côté. L'analyse pourtant n'accuse pas ces différences.

Ainsi, dans la première expérience, après vingt-six jours (8-17 mai), les cotylédons pesaient en moyenne, pour 1 gramme de graine :

A la lumière : 0^{gr},260; à l'obscurité : 0^{gr},200. Différence : 0^{gr},060.

Dans la deuxième expérience, après dix-neuf jours (11-30 juin), ils pesaient, toujours pour 1 gramme de graine :

A la lumière : 0^{gr},280; à l'obscurité : 0^{gr},230. Différence : 0^{gr},050. Or, les cotylédons analysés précédemment pesaient, après huit jours de germination :

A la lumière : 0^{gr},740; à l'obscurité : 0^{gr},660. Différence : 0^{gr},080. On voit que les différences de poids ne se sont pas sensiblement accentuées pendant ce long intervalle de temps. Les produits d'assimilation seraient donc en faible quantité dans les cotylédons, et on peut en effet constater le fait directement.

Les cotylédons de trois Lupins germant depuis quinze jours ont été exposés au soleil, de 2 heures à 5 heures, dans une atmosphère confinée. L'air a été analysé avant et après l'expérience. Il renfermait au début 0^{gr},009 d'acide carbonique. Après trois heures d'expérience, il ne renfermait plus que 0^{gr},003 d'acide carbonique; ce qui représente 0^{gr},006 d'acide carbonique disparu, c'est-à-dire 0^{gr},0016 de carbone assimilé par les cotylédons de trois Lupins verts, à l'heure la plus favorable de la journée pour l'assimilation.

Les cotylédons d'un Lupin assimilent donc, dans une journée, une quantité de carbone qui, même après vingt jours, a une influence insignifiante sur leur poids sec.

On peut, par suite, à toutes les périodes de la végétation, considérer cette perte de poids plus grande des cotylédons à l'obscurité.

rité, simplement comme le résultat d'un appel plus grand de matières par les autres organes.

Axe hypocotylé. — L'étude de l'axe à l'obscurité présente un certain intérêt. Morphologiquement, on sait que cet axe est, de tous les organes de la plante, le plus turgescent à l'obscurité, et celui qui prend le plus grand développement, comme on pourra du reste s'en rendre compte par les nombres qui vont suivre.

Or, contrairement à ce qui arrive pour toutes les autres parties végétatives, sa quantité de substance sèche est aussi notablement plus considérable à l'obscurité qu'à la lumière.

Les deux séries d'expériences déjà mentionnées nous ont en effet fourni les résultats suivants :

	Longueur de l'axe.		Poids p. 1 gr. de graine.	
	Lumière.	Obscurité.	Lumière.	Obscurité.
Après 17 jours (8 mai).....	0 ^m ,046	0 ^m ,100	0 ^{gr} ,150	0 ^{gr} ,250
— 21 — (11 —).....	0 ,070	0 ,150	0 ,19½	0 ,350
— 26 — (17 —).....	0 ,075	0 ,160	0 ,200	0 ,350

et, d'autre part :

Après 8 jours (19 juin).....	0 ^m ,060	0 ^m ,080	0 ^{gr} ,090	0 ^{gr} ,157
— 12 — (23 —).....	0 ,060	0 ,110	0 ,130	0 ,270
— 19 — (30 —).....	0 ,070	0 ,160	0 ,160	0 ,280

Dans ces deux séries d'expériences, la plante, à l'obscurité, vit encore un certain temps. Néanmoins, à partir du dix-neuvième jour dans un cas, du vingt et unième dans l'autre, l'axe cesse de croître en poids d'une façon appréciable. Il est à remarquer que c'est aussi à partir de ce moment que sa croissance longitudinale s'arrête à la lumière et à l'obscurité.

Ainsi *l'axe prend à l'obscurité un développement en poids et en volume notablement plus grand qu'à la lumière, mais la durée de ce développement est la même.*

De plus, quelle que soit l'époque, comme on peut le voir dans ces deux séries d'expériences, le rapport du gain à l'obscurité au gain à la lumière reste constant.

Les rapports $\frac{150}{250}, \frac{200}{350}, \frac{90}{160}, \frac{160}{280}$ oscillent en effet entre les rapports très rapprochés $\frac{56}{100}$ et $\frac{60}{100}$.

En d'autres termes, *la marche des variations, en poids sec, de l'axe hypocotylé est la même à la lumière et à l'obscurité.*

Le fait prouve que l'assimilation n'intervient pas, ou seulement d'une façon insensible, dans l'accroissement de l'axe hypocotylé à la lumière.

Racines. — Tant que le tégument n'est pas tombé, les racines, comme nous l'avons vu, ont le même poids à l'obscurité et à la lumière.

Le tableau suivant donne les résultats que nous avons obtenus, dans nos expériences faites au mois de mai et au mois de juin.

	Longueur de la racine.		Poids sec pour 1 gr. de graine.	
	Lumière.	Obscurité.	Lumière.	Obscurité.
Après 12 jours (3 mai).....	0 ^m ,070	0 ^m ,090	0 ^{gr} ,073	0 ^{gr} ,072
— 17 —	0 ,450	0 ,450	0 ,120	0 ,105
— 21 —	0 ,490	0 ,250	0 ,140	0 ,110
— 26 —	0 ,200	0 ,330	0 ,180	0 ,120

Deuxième expérience.

	Longueur de la racine.		Poids sec pour 1 gr. de graine.	
	Lumière.	Obscurité.	Lumière.	Obscurité.
Après 8 jours (19 juin).....	0 ,060	0 ,070	0 ,045	0 ,045
— 12 —	0 ,410	0 ,410	0 ,095	0 ,065
— 19 —	0 ,200	0 ,200	0 ,140	0 ,080

Il suffit d'observer les tableaux suivants pour en déduire les faits qui suivent :

Il n'y a pas de différence bien nette dans la longueur des racines, chez les plantes vivant à la lumière et chez les plantes vivant à l'obscurité. Ajoutons que, dans ce dernier cas, les racines secondaires apparaissent très tard et restent toujours très rares et très courtes.

Après la chute des téguments, leur *poids sec total* devient inférieur à celui des racines dans les plantes vertes, mais il augmente pourtant pendant toute la durée de la végétation active, c'est-à-dire jusqu'à l'apparition de la quatrième ramification. Quant au *gain quotidien*, tandis qu'à la lumière il a aug-

menté aussitôt après la chute du tégument, à l'obscurité, au contraire, il est resté le même quelques jours encore après cette chute, puis il a diminué.

L'analyse de la substance sèche des racines montre en outre que, malgré la différence des poids secs, la quantité de substances minérales est à peu près la même dans les deux cas.

Ainsi, dans la deuxième expérience les racines renferment :

Lumière.

Après 8 jours.....	Pour 0 ^{gr} ,045 de subst. sèche	0 ^{gr} ,002 de cendres.
— 12 —	— 0 ,094 —	0 ,006 —
— 19 —	— 0 ,144 —	0 ,007 —

Obscurité.

Après 8 jours.....	Pour 0 ^{gr} ,046 de subst. sèche	0 ^{gr} ,003 de cendres.
— 12 —	— 0 ,066 —	0 ,0045 —
— 19 —	— 0 ,079 —	0 ,006 —

Gemmule. — Cette partie, comme il est aisé de le prévoir, est celle qui présente, après la chute du tégument, les plus grandes différences dans les deux cas.

Première série d'expériences.

	Nombre de feuilles.		Poids sec.	
	Lumière.	Obscurité.	Lumière.	Obscurité.
Après 12 jours (3 mai).....	2 longues.	2 courtes.	0 ^{gr} ,095	0 ^{gr} ,030
— 14 —	3 —	2 —	0 ,195	
— 19 —	4 —	3 —	0 ,410	0 ,150

Deuxième série d'expériences.

Après 17 jours.....	2 longues.	2 courtes.	0 ^{gr} ,140	0 ^{gr} ,060
— 21 —	3 —	2 —	0 ,205	0 ,090
— 26 —	6 —	3 —	0 ,510	0 ,110

Les quantités de substances minérales dans les deux cas sont aussi différentes. Elles égalent :

Lumière.

Après 12 jours.....	Pour 0 ^{gr} ,095 de subst. sèche	0 ^{gr} ,007 de sels.
— 19 —	— 0 ,410 —	0 ,035 —

Obscurité.

Après 12 jours.....	Pour 0 ^{gr} ,030 de subst. sèche	0 ^{gr} ,001 de sels.
— 19 —	— 0 ,150 —	0 ,005 —

Ainsi à l'obscurité :

Le poids sec de la gemmule s'accroît lentement, avec le développement foliaire ; les substances minérales sont toujours en très faible quantité.

4° *Variations des substances minérales dans ces différents membres de la plante, à l'obscurité.* — La plante étiolée, comme la plante verte, absorbe des substances minérales.

Nous savons que la plante vivant à la lumière absorbe des sels dès le début de la germination, avant la chute du tégument ; et nous avons vu, dans le tableau que nous avons donné plus haut, que, à la même époque, 1 gramme de graine, qui renferme avant la germination 0^{gr},038 de sels, a absorbé dans le même temps la même quantité de sels, à la lumière et à l'obscurité. Dans les deux cas la quantité de sels est en effet égale à 0^{gr},047 au moment de la chute du tégument.

Dans une autre expérience, faite au mois de mai, les plantes renferment, de même, après douze jours de germination, et avant la chute du tégument, à la lumière comme à l'obscurité, 0^{gr},043 de sels pour 1 gramme de graine.

Après la chute du tégument, l'analyse de plusieurs plantes qui ont vécu à l'obscurité a donné, en moyenne, pour 1 gramme de graine :

Après 12 jours.....	0 ^{gr} ,043 de sels.
— 17 —	0 ,036 —
— 21 —	0 ,034 —
— 26 —	0 ,035 —
— 33 —	0 ,038 —

Dans l'expérience faite au mois de juin, l'analyse a donné :

Après 8 jours.....	0 ^{gr} ,048 de sels.
— 12 —	0 ,030 —
— 19 —	0 ,048 —
— 28 —	0 ,048 —

On voit que, dans les deux cas, il y a, au début, une assez forte absorption de substances minérales, mais que bientôt (dix-septième jour dans un cas — douzième dans l'autre) cette absorption paraît cesser, et que la quantité de sels de la plante

reste à peu près la même jusqu'à la fin de la végétation.

Cette absorption cesse même avant la fin de croissance de l'axe, à l'époque, à peu près, où les cotylédons s'écartent, et où la gemmule apparaît.

A la lumière, au contraire, les substances minérales continuent à s'accumuler dans la plante, et le développement des feuilles, comme il a déjà été dit, active encore leur absorption.

Ainsi, après vingt-six jours, 1 gramme de graine est devenu :

A la lumière 1^{gr},120 renfermant 0^{gr},094 de sels.

A l'obscurité 0^{gr},750 renfermant 0^{gr},055 de sels.

Quant à la répartition de ces sels dans la plante, elle est liée à la répartition de la substance sèche.

Ainsi, pour 1 gramme de graine, les divers membres de la plante contiennent en substances minérales, à l'obscurité :

	Racines.	Axe.	Cotylédons.	Tige.
Après 8 jours	0 ^{gr} ,003	0 ^{gr} ,018	0 ^{gr} ,026	»
— 12 —	0 ,0045	0 ,027	0 ,019	0 ^{gr} ,001
— 19 —	0 ,006	0 ,027	0 ,012	0 ,003

D'autre part, une plante qui a germé dix-neuf jours, à la même époque, à la lumière, et qui a alors quatre feuilles bien développées, renferme, pour 1 gramme de graine, en substances minérales :

Racines.	Axe.	Cotylédons.	Tige.
0 ^{gr} ,007	0 ^{gr} ,009	0 ^{gr} ,015	0 ^{gr} ,035

Ces deux analyses comparatives montrent que, à l'obscurité :

Les racines renferment pendant un certain temps à peu près la même quantité de cendres qu'à la lumière.

Les cotylédons perdent leurs sels plus rapidement.

L'axe hypocotylé, au contraire, est beaucoup plus riche en substances minérales qu'à la lumière.

La tige n'en renferme jamais qu'une très faible quantité.

C'est donc, en somme, au faible développement de cette tige qu'est due surtout la faible absorption des substances minérales par les plantes vivant à l'obscurité.

5° *Fin de la végétation de l'obscurité.* — Nous avons suivi la

plante jusqu'à l'apparition de la troisième feuille. Il nous reste à rechercher ce qu'elle devient ensuite. A partir de cette époque elle ne se développe plus, en apparence, et cependant elle ne se flétrit pas encore.

Dans la deuxième série d'expériences, par exemple, les plantes que nous avons étudiées jusqu'au dix-neuvième jour de germination sont encore fraîches neuf jours après.

Jusqu'au dix-neuvième jour ces plantes ont continuellement gagné en eau.

Ainsi, le douzième jour, 1 gramme de graine sèche était devenu 0^{gr},953 et renfermait 9^{gr},072 d'eau.

Le dix-neuvième jour 1 gramme de graine sèche est devenu 0^{gr},731 et renferme 14^{gr},282 d'eau.

Mais, si nous reprenons ces mêmes plantes le vingt-huitième jour de germination, nous trouvons que, tandis que la substance sèche a encore diminué, la quantité d'eau de la plante est égale à 13^{gr},850, c'est-à-dire qu'elle a peu varié.

Dans la première série d'expériences, nous obtenons un résultat à peu près semblable. La plante renferme pour 1 gramme de graine :

Après 26 jours.....	15 ^{gr} ,410
— 35 —	13 ,920

Ainsi, après avoir terminé sa croissance, et avant de se flétrir, la plante reste, en quelque sorte, stationnaire, ne perdant qu'une faible quantité d'eau.

Pendant ce temps, comme précédemment, la substance sèche a diminué. Mais il y a ici, toutefois, une différence avec ce que nous avons observé plus haut. Jusqu'au vingt-sixième jour, par exemple, les cotylédons seuls perdaient, les autres membres de la plante gagnaient en substance sèche. Après le vingt-sixième jour, ces membres ont eux-mêmes perdu, comme les cotylédons.

En effet 1 gramme de graine est devenu :

Après 26 jours.			Après 35 jours.		
0 ^{gr} ,776 ainsi répartis :	(Racines....	0 ^{gr} ,120	0 ^{gr} ,670 ainsi répartis :	(Racines ...	0 ^{gr} ,090
	Axe	0 ,354		Axe.....	0 ,306
	Cotylédons.	0 ,200		Cotylédons.	0 ,188
	Tige.....	0 ,107		Tige.....	0 ,084

Dans une autre plante, prise après trente-cinq jours, la perte était un peu moindre que dans cette dernière, et ne portait que sur la tige, qui pesait de même, en poids sec, 0^{gr},083.

Pour cette plante, 1 gramme de graine était devenu 0^{gr},780. Elle avait donc peu varié depuis le vingt-sixième jour. Le carbone, l'hydrogène et les cendres qu'elles renferment ont été dosés. Nous avons obtenu :

$$\text{Pour } 0^{\text{gr}},780 \text{ de substance sèche. } \left\{ \begin{array}{l} \text{Carbone} = 0^{\text{gr}},246 \\ \text{Hydrogène} = 0,044 \\ \text{Cendres} = 0,058 \end{array} \right.$$

Il est à remarquer que si, dans la formule de l'asparagine $\text{C}^8\text{H}^8\text{Az}^2\text{O}^6$, nous donnons pour valeur à l'hydrogène 0^{gr},044 nous avons :

$$\begin{array}{r} \text{C} = 0^{\text{gr}},264 \\ \text{H} = 0,044 \\ \text{O} = 0,264 \\ \text{Az} = 0,454 \\ \hline 0^{\text{gr}},726 \end{array}$$

Et, si nous ajoutons à ce poids celui des cendres de la plante 0^{gr},058, nous obtenons pour total : 0^{gr},784.

La plante peut donc être considérée à cette époque, où elle termine sa végétation, comme présentant une composition qui se rapproche de celle de l'asparagine.

On sait que cette substance s'accumule dans la plante à l'obscurité. Le fait n'a donc pas lieu d'étonner, mais il est intéressant en ce qu'il précise la fin de la végétation à l'obscurité.

Cette végétation se termine quand toutes les matières albuminoïdes de la graine ont été dédoublées. A l'état normal, l'asparagine qui résulte de ce dédoublement redonne, avec les hydrates de carbone produits par l'assimilation, des matières albuminoïdes.

Mais à l'obscurité, ces hydrates de carbone manquant, l'asparagine ne peut subir aucune modification. Quand les matières albuminoïdes ont été complètement dédoublées, et qu'il ne reste dans la plante que de l'asparagine, tout phénomène chimique cesse, et la plante meurt.

En résumé, la végétation des plantes étiolées peut être divisée en trois phases.

1° *Les cotylédons perdent en poids. Les racines, les feuilles et l'axe gagnent ;*

2° *Les cotylédons perdent en poids. L'axe cesse de croître. Les racines et les feuilles gagnent ;*

3° *Tous les organes de la plante perdent en poids, jusqu'au moment où les matières albuminoïdes sont complètement dédoublées.*

La plante ne renferme plus guère alors que de l'asparagine et meurt.

III. — VARIATIONS DE LA QUANTITÉ D'EAU, A L'OBSCURITÉ.

1° *Proportion d'eau de la plante.* — Nous ne nous sommes jusqu'ici occupés que de la substance sèche de la plante. L'étiolement produit encore, dans la quantité d'eau interne de cette plante, des différences qu'il convient d'examiner.

Contrairement à ce qui arrive pour la substance sèche, ces différences se manifestent dès le début de la germination.

Dans les deux plantes, par exemple, pourvues encore de leurs téguments, que nous avons analysées après 8 jours de germination, nous trouvons que :

A la lumière le poids de l'eau	=	7 fois le poids sec.
A l'obscurité	—	= 10 —

Onze jours après,

A la lumière le poids de l'eau	=	12 fois le poids sec.
A l'obscurité	—	= 18 —

Dans une autre série d'expériences, après 17 jours de germination,

A la lumière le poids de l'eau	=	11 fois le poids sec.
A l'obscurité	—	= 12 —

Neuf jours après,

A la lumière le poids de l'eau	=	14 fois le poids sec.
A l'obscurité	—	= 19 —

On voit encore que, pour un même temps,

Dans la première expérience :

A la lumière le poids de l'eau a augmenté dans le rapport	$\frac{7}{12}$
A l'obscurité	$\frac{10}{18}$

Dans la deuxième expérience :

A la lumière le poids de l'eau a augmenté dans le rapport	$\frac{11}{14}$
A l'obscurité	$\frac{12}{19}$

Ces rapports montrent que, d'une manière générale, aux différentes époques de la végétation, la proportion d'eau augmente toujours plus rapidement à l'obscurité qu'à la lumière.

Mais ici encore il est bon d'étudier chaque membre de la plante séparément.

2° *Proportion d'eau de chaque membre de la plante.*

Cotylédons. — Les cotylédons sont plus développés à la lumière qu'à l'obscurité. Nous avons vu ailleurs que, à la lumière, la quantité totale d'eau qu'ils renferment au début de la germination va en augmentant légèrement pendant la durée de leur vie. Le même fait a lieu à l'obscurité.

Ainsi les cotylédons de graines mises à germer à la même époque renferment, pour 1 gramme de graine :

	Obscurité.		Lumière.
Après 8 jours.....	2 ^{gr} ,900 d'eau.	3 ^{gr} ,047 d'eau.	
— 12 —	3 ,047 —	3 ,116 —	
— 19 —	3 ,224 —	3 ,814 —	
— 28 —	3 ,000 —	3 ,124 —	

Dans une autre expérience, ils renferment en eau :

	Obscurité.	Lumière.
Après 17 jours.....	2 ^{gr} ,498	3 ^{gr} ,285
— 21 —	3 ,072	3 ,340

Remarquons que les graines avaient été mises à germer dans les mêmes conditions. Les cotylédons retiennent donc une quantité d'eau un peu plus grande à la lumière qu'à l'obscurité.

A part cette différence, qui date du début de la germination,

les cotylédons se comportent, comme le montrent les nombres précédents, sensiblement de même à la lumière et à l'obscurité. D'un côté ils perdent en substance sèche, de l'autre ils gagnent en eau. Ce qui prouve, une fois de plus, l'indépendance absolue, dans la plante, de la quantité d'eau et de la quantité de matière sèche.

En résumé, dans les cotylédons, à l'obscurité comme à la lumière, bien que la substance sèche diminue, la quantité totale d'eau augmente. Cette quantité est toutefois un peu moindre à l'obscurité qu'à la lumière.

Axe hypocotylé. — Les phénomènes sont tout différents dans l'axe hypocotylé.

Pour le Lupin, le rapport du poids d'eau au poids sec de l'axe de la plante a été trouvé égal à :

Première expérience :

	Lumière.	Obscurité.
Après 17 jours... ..	14	20
— 21 —	15	25
— 26 —	15	25

Deuxième expérience :

Après 8 jours.....	10	14 Légument non tombé.
— 12 —	13	15
— 19 —	16	23

Nous avons trouvé précédemment que le rapport du poids sec gagné par l'axe hypocotylé, dans un temps donné, au poids primitif était égal, à la lumière et à l'obscurité. Les nombres précédents montrent qu'il n'en est pas de même pour le gain de l'axe en eau, car, du dix-septième au vingt et unième jour, dans la première expérience, le rapport du poids d'eau au poids sec s'est élevé de

$$\frac{15}{14} = 1,07 \text{ à la lumière.} \quad \frac{25}{20} = 1,25 \text{ à l'obscurité.}$$

De même dans la deuxième expérience, du douzième au dix-neuvième jour, ce rapport s'est élevé de

$$\frac{16}{13} = 1,30 \text{ à la lumière.} \quad \frac{23}{15} = 1,53 \text{ à l'obscurité.}$$

C'est une nouvelle preuve de l'indépendance relative, que nous avons déjà plusieurs fois constatée, entre le gain de la substance sèche et son gain en eau.

Remarquons pourtant que, à l'obscurité comme à la lumière, ces deux gains cessent à la même époque, en même temps que l'augmentation de la substance sèche : le vingt et unième jour, par exemple, dans la première expérience.

L'axe hypocotylé gagne en eau pendant le même temps, à la lumière et à l'obscurité, mais les proportions de ce gain sont plus grandes et s'élèvent plus rapidement à l'obscurité.

Racines. — Dans les racines, le rapport du poids d'eau au poids sec égale :

		Lumière.	Obscurité.
1 ^{re} Exp. :	Après 17 jours.....	15	17
	— 21 —	15	19
	— 26 —	16	21
2 ^e Exp. :	Après 8 —	12	16 Tég. non tombé. Transpirat. retardée.
	— 12 —	13	15
	— 19 —	15	18

La différence entre la lumière et l'obscurité est ici moindre que pour l'axe ; mais, comme dans l'axe, *la proportion d'eau est plus grande et augmente plus rapidement à l'obscurité qu'à la lumière.*

Gemmule. — Dans la partie épicotylée, après la chute du tégument, il n'y a d'abord aucune différence dans la proportion d'eau, à la lumière et à l'obscurité.

Par exemple, dans une première expérience, après 17 jours, cette proportion était égale à 7 dans les deux cas.

Dans une seconde expérience, après 12 jours, nous avons retrouvé cette même proportion 7 pour les plantes étiolées et les plantes vertes.

A cette époque les Lupins ont deux feuilles, et l'accroissement de l'axe hypocotylé s'arrête. Vers le moment de l'apparition de la troisième, les proportions d'eau deviennent :

Première expérience (mai).

	Lumière.	Obscurité.
Après 21 jours.....	8	16

Deuxième expérience (juin).

	Lumière.	Obscurité.
Après 19 jours.....	7	17

Et cette énorme augmentation dans la proportion d'eau à l'obscurité n'est pas due à une diminution de la substance sèche, la quantité d'eau restant la même. Aux époques considérées, en effet, la substance sèche a encore gagné en poids; et, en valeur absolue, la quantité d'eau, pour 1 gramme de graine, est devenue dans la gemmule :

	17 ^e jour.	21 ^e jour.
Première expérience.....	0,490	1,377
	12 ^e jour.	19 ^e jour.
Deuxième expérience.....	0,156	2,481

Ainsi, la partie épicotylée a renfermé d'abord la même proportion d'eau à la lumière et à l'obscurité; mais, vers l'époque où la croissance de l'axe hypocotylé s'est arrêtée, cette proportion d'eau est devenue notablement plus forte, dans la partie épicotylée, à l'obscurité qu'à la lumière. Cette partie continue du reste à s'accroître en poids sec.

Plus tard, la proportion d'eau augmente dans tous les membres de la plante, mais ici la cause est différente; ce n'est plus une augmentation d'eau; mais une diminution de substance. En réalité, il y a, quoique faiblement, perte d'eau jusqu'à la mort de la plante.

En résumé :

La plante prise dans son ensemble renferme à l'obscurité une plus grande quantité d'eau, par rapport au poids sec, qu'à la lumière.

Cette proportion d'eau est surtout très forte dans l'axe hypocotylé. Elle y augmente rapidement, et atteint un maximum, qu'elle conserve jusqu'à la fin de la croissance de la plante étiolée.

Elle est plus faible dans la racine, mais encore plus grande qu'à la lumière, et augmente jusqu'à la fin de la croissance.

Elle est la même qu'à la lumière dans la tige, pendant le développement de l'axe hypocotylé. Après ce temps, elle devient notablement plus forte.

Elle est un peu plus faible qu'à la lumière dans les cotylédons, mais la différence est très légère. Cette différence s'accuse dès le début et reste à peu près la même pendant toute la vie de ces organes. En d'autres termes, les cotylédons vivants gagnent constamment en eau, mais faiblement, à l'obscurité comme à la lumière.

3° *Causes de la forte proportion d'eau.* — Quelle est la cause de la forte proportion d'eau des organes vivant à l'obscurité? On a mis plusieurs fois en avant l'influence du ralentissement de la transpiration.

Pour étudier comparativement cette transpiration, à la lumière et à l'obscurité, il faut évidemment choisir la période de végétation où les deux plantes ont entre elles la plus grande ressemblance possible. Cette époque est celle où la plante, à la lumière, n'a encore que deux feuilles, comme la plante étiolée.

Deux plantes ont été prises ainsi au moment de la chute du tégument et ont été placées, chacune sur une éprouvette à pied renfermant une solution. Un bouchon dans lequel elles étaient fixées par la base de l'axe hypocotylé fermait hermétiquement l'éprouvette et empêchait l'évaporation de la solution. Le volume de cette solution dans laquelle trempent les racines étant connu, chaque appareil est placé sous une cloche, à côté d'un vase renfermant de l'acide sulfurique qui absorbera l'eau transpirée. Une des deux cloches est entourée de papier noir.

Les plantes sont restées dans l'appareil jusqu'à l'apparition de la troisième ramification, à la lumière.

Au bout de cinq jours, nous avons obtenu (23-28 juillet) :

	Lumière.	Obscurité.
Eau absorbée	12 gr.	13 gr.
Eau évaporée	9,265	8,270

Dans une autre expérience qui a duré trois jours (7-10 sept.), les quantités d'eau évaporée ont été très faibles, mais les quantités d'eau absorbée ont été :

A la lumière	2 grammes.
A l'obscurité	4 —

Ce fait d'une absorption d'eau plus grande, au début de la végétation, à l'obscurité qu'à la lumière, peut encore être mis en évidence par une méthode permettant une observation, en volume, plus sensible que l'observation en poids.

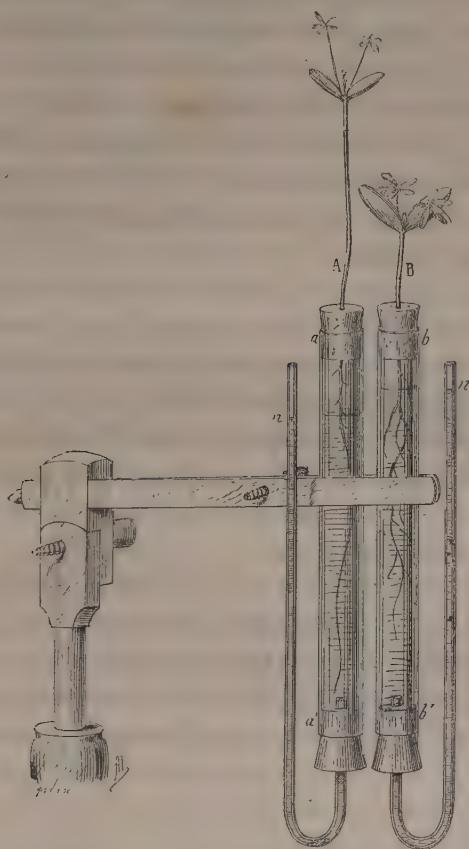


Fig. 1. — Absorption d'eau, comparée, à la lumière et à l'obscurité; A, Lupin qui s'est développé à l'obscurité; B, Lupin développé à la lumière; *n*, niveau de l'eau après dix jours de végétation à l'obscurité dans le tube *aa'*; *n'*, niveau de l'eau après dix jours de végétation à la lumière dans le tube *bb'*.

Un morceau *aa'* d'un tube de 2 centimètres de diamètre environ est fermé à l'une de ses extrémités, *a'*, par un bouchon en caoutchouc, dans lequel passe un tube à diamètre fin, recourbé en U comme le montre la figure. Un autre morceau *bb'* du même tube est disposé de la même façon.

Les deux tubes sont placés l'un à côté de l'autre, et remplis presque complètement avec de l'eau qui atteint dans l'un et l'autre la même hauteur.

Deux très jeunes Lupins, fixés chacun au centre d'un bouchon, en *a* et *b*, sont mis à végéter, chacun dans la branche d'un de ces tubes. L'un d'eux, A, est entouré d'un cylindre de papier noir; l'autre, B, vit à la lumière. Chaque plante, en se développant, attire l'eau du tube dans lequel plongent ces racines. Le niveau de l'eau s'abaisse ainsi constamment dans les deux branches de chaque tube en U, et il est facile, par des lectures faites de temps à autre sur le tube à diamètre étroit, de mesurer ces dépressions de l'eau.

On constate alors que, en même temps que la plante placée à l'obscurité allonge, plus que la plante à la lumière, son axe hypocotylé, le niveau de l'eau, dans le tube où elle plonge, s'abaisse plus rapidement que dans l'autre.

De cette expérience et des précédentes il résulte donc que :

La forte proportion d'eau que renferme une plante à l'obscurité est due à la fois au ralentissement de la transpiration et à l'augmentation de l'absorption.

Sur la cause de cette absorption, la théorie de Wiesner et de H. de Vries (1) semble rationnelle. Il y a, en effet, une concordance remarquable entre cette plus grande absorption d'eau par certaines parties de la plante, et la présence, dans ces parties, des acides organiques qui sont les agents essentiels de la turgescence.

IV. — INFLUENCE COMPARÉE DE LA TURGESCECE ET DE L'ASSIMILATION SUR LA MORPHOLOGIE DE LA PLANTE.

L'obscurité augmente, en général, la tension de turgescence; d'autre part, elle entrave l'assimilation.

Ces deux causes secondaires, turgescence et assimilation, produisent dans la plante des modifications morphologiques et ana-

(1) Wiesner et H. de Vries, *loc. cit.*

tomiques. Il nous reste à rechercher quelle part revient à chacune de ces deux causes dans ces modifications. Nous avons cité les opinions diverses déjà émises sur cette question.

Il est certain que ces recherches seront facilitées si nous pouvons observer des plantes soumises à des conditions telles que l'une des causes, la turgescence par exemple, persistera, tandis que l'autre, défaut d'assimilation, sera supprimée.

Or, les plantes que nous avons cultivées dans les solutions sont précisément dans ce cas. Nous avons vu, en effet, qu'il y a concordance entre la présence de sels dans la plante et l'augmentation de la proportion d'eau.

1° *Influence de la turgescence et de l'assimilation sur la tige.* — Sous cette influence de l'abondance d'eau dans la plante, nous avons obtenu, dans la tige, un fort développement du parenchyme et une faible lignification. Ce sont les mêmes résultats que pour les plantes poussant dans des conditions d'humidité externe.

Dans ces conditions, l'assimilation se fait normalement. Ce n'est donc pas son absence qui produit dans la plante étiolée ce même développement du parenchyme et cette même faible lignification. Ces faits peuvent être rapportés, sans crainte d'erreur, à la turgescence.

Mais les tiges étiolées, et turgescentes, ne sont pas seulement, d'ordinaire, plus épaisses et moins lignifiées que les tiges vertes; elles sont encore très développées longitudinalement. Or les tiges de nos plantes riches en sels, au contraire, sont restées très courtes, malgré leur turgescence.

Cette différence vient à l'appui de l'opinion de Candolle, qui fait intervenir l'assimilation dans l'allongement. On voit en effet que, malgré leur forte proportion d'eau, les tiges qui, avec les produits de l'assimilation chlorophyllienne, durcissent leurs parois cellulaires, résistent à la turgescence et restent courtes.

D'autre part, malgré cette assimilation, et bien que leur proportion d'eau soit relativement petite, les plantes privées de sels allongent davantage leurs tiges. Ce nouveau fait nous semble permettre de conclure que les sels jouent dans l'allongement de la tige le même rôle que l'assimilation, c'est-à-dire qu'ils re-

lardent cet allongement en rendant aussi plus solides les parois des cellules.

Cette dernière conclusion demanderait évidemment une démonstration plus directe, qu'on obtiendrait, semble-t-il, en observant, à l'obscurité, des plantes cultivées, les unes dans la solution, et les autres dans l'eau distillée. Ces dernières, privées de sels, devraient alors s'allonger plus que les premières. En réalité, on n'observe aucune différence; le fait ne vient pas toutefois à l'encontre de ce que nous avons énoncé; l'entrée des sels dans la plante à l'obscurité est en effet si faible, comme nous l'avons vu, que leur influence sur le durcissement des parois ne peut être très sensible.

Nous n'avançons donc que sous toutes réserves et nous donnons comme une simple hypothèse cette dernière conclusion.

2° *Influence de la turgescence et de l'assimilation sur les feuilles.*

— Dans les feuilles, nous avons vu qu'il y a également des différences, suivant que les plantes ont été élevées dans une solution ou dans l'eau distillée.

Les feuilles des plantes pourvues de sels, comme les feuilles des plantes poussant dans des conditions de grande humidité, deviennent pâles et prennent un grand développement en surface. La turgescence joue donc un rôle incontestable dans la dimension des feuilles, et c'est, comme le pense H. de Vries, par défaut de turgescence, que les feuilles des Dicotylédones ne se développent pas à l'obscurité.

L'assimilation n'a-t-elle donc, comme le pense Detmer, aucune influence? Dans le but de résoudre cette question, nous avons cultivé, comme l'a fait Detmer pour les *Raphanus*, des Lupins à l'obscurité, et d'autres à la lumière, dans un air privé d'acide carbonique. Mais, de plus, nous avons cultivé un troisième lot des mêmes plantes à la lumière, dans un milieu favorable à l'assimilation.

Comme Detmer, nous avons obtenu des feuilles plus larges à la lumière, dans un air privé d'acide carbonique, qu'à l'obscurité. Mais, en revanche, fait que Detmer a négligé d'observer, ces feuilles sont sensiblement plus petites que les feuilles de la

troisième expérience qui ont pu, à la lumière, assimiler l'acide carbonique de l'air.

On paraît donc, au premier abord, en droit de conclure que l'assimilation influe sur le développement de la feuille. En réalité, le résultat obtenu n'est pas aussi probant. En effet, à la lumière, dans un air privé d'acide carbonique, la feuille verte transpire une plus grande quantité d'eau, dans le même temps, que la feuille verte placée dans un air pourvu d'acide carbonique (1). Sous l'influence de cette transpiration rapide, les feuilles de la deuxième expérience tendent sans cesse à renfermer une moindre proportion d'eau que les feuilles de la troisième expérience; elles doivent donc se développer moins en surface.

Il est dès lors impossible de déterminer, dans ces expériences comparatives, faites en présence ou en l'absence d'acide carbonique, la part qui, dans le phénomène, revient à l'assimilation.

Mais ces expériences montrent que la turgescence n'est pas la seule cause du développement des feuilles.

En effet, les feuilles placées, à la lumière, dans une atmosphère privée d'acide carbonique transpirent plus rapidement et renferment, par suite, d'une manière presque continuelle, une proportion d'eau moindre que les feuilles à l'obscurité; elles sont cependant plus développées.

Nous avons déjà signalé en outre, vers la fin de la végétation, une énorme augmentation dans la proportion d'eau des feuilles. Cependant il n'y a pas de développement foliaire correspondant; les feuilles restent petites.

Ces deux faits prouvent que la turgescence ne suffit pas à faire développer la feuille. Le second montre, en outre, que la lumière est nécessaire; et le premier, que cette influence de la lumière n'est pas due à l'assimilation qui en résulte.

Les feuilles des Graminées qui s'accroissent à l'obscurité comme à la lumière sont encore une preuve à l'appui de ce dernier point.

Il reste dès lors une seule explication possible, qui est celle

(1) Henri Jumelle : *Assimilation et transpiration chlorophylliennes* (Revue génér. de Botanique, janvier 1889).

déjà donnée en partie par Rauwenhoff(1) : Les feuilles, pour se développer, exigent la présence de certaines matières encore mal déterminées.

Ou ces matières existent en grande quantité dans la graine, et alors les feuilles se développent, même à l'obscurité. C'est le cas des Graminées.

Ou ces matières n'existent qu'en petite quantité, et doivent se former, au fur et à mesure du développement de la plante, aux dépens d'autres matières, qui ne se transformeront que sous l'influence de la lumière. C'est le cas de la plupart des Dicotylédones.

A un point de vue tout à fait général, laissant de côté les phénomènes secondaires que nous avons déjà résumés, nous pouvons dégager de l'étude précédente ces quelques faits dominants :

1° *La croissance de la tige et des feuilles est liée à la proportion d'eau que ces organes renferment.*

2° *Dans la tige, la forte proportion d'eau est la cause principale de la grande croissance.*

Son influence est combattue par les causes qui tendent à durcir les tissus : assimilation, introduction de substances minérales.

3° *Dans les feuilles, la forte proportion d'eau n'est qu'une cause secondaire de croissance.*

Cette croissance est sans doute due surtout à la présence de certaines matières qui existent toutes formées dans la graine, ou ne se produisent que peu à peu, sous l'influence de la lumière.

RÉSUMÉ GÉNÉRAL DE LA DEUXIÈME PARTIE.

Le milieu exerce, comme l'âge, une influence considérable sur les variations de poids des plantes.

Végétation dans un milieu dépourvu de sels. — L'absence de sels entraîne, outre une diminution naturelle de la substance sèche due à cette absence même, diminution relativement faible

(1) Rauwenhoff, *loc. cit.*

d'ailleurs jusqu'à floraison, un abaissement dans la proportion d'eau de la plante par rapport au poids sec.

Cet abaissement se manifeste surtout à partir du moment où, à l'état normal, les sels seraient abondamment puisés par les racines. Il en résulte les modifications anatomiques et morphologiques qui accompagnent toujours la diminution de la proportion d'eau de la plante, quelles que soient les causes qui la produisent.

La grande proportion d'eau de la plante riche en sels est due au ralentissement de la transpiration, et surtout à l'augmentation de l'absorption.

Végétation à l'obscurité. — Quand la plante est pourvue de sels, mais est cultivée à l'obscurité, c'est-à-dire dans un milieu tel que l'assimilation du carbone soit supprimée, l'absorption des substances minérales est excessivement faible, et se produit surtout au début de la végétation.

Avant la chute du tégument de la graine, la racine se comporte à l'obscurité comme à la lumière, mais l'axe attire déjà à lui une grande quantité de la substance des cotylédons; il renferme déjà, en outre, plus d'eau qu'à la lumière.

Après la chute du tégument, les racines gagnent bien plus rapidement, en substance sèche, à la lumière qu'à l'obscurité. Dans ce dernier cas, le gain par jour reste encore quelque temps le même qu'avant la chute du tégument, puis il diminue jusqu'à la fin de la végétation. La proportion d'eau est plus forte qu'à la lumière; comme à la lumière, elle augmente avec le développement.

L'axe hypocotylé cesse de s'accroître en poids sec à l'obscurité en même temps qu'à la lumière, mais, à tous moments, ce poids sec est bien plus fort dans le premier cas que dans le second. En un temps donné, il augmente dans les mêmes proportions par rapport à son poids antérieur, à la lumière et à l'obscurité. Les deux marches d'accroissement pourraient être représentées par la même courbe décrite à deux échelles différentes.

La proportion d'eau, au contraire, toujours plus forte à l'obscurité, s'élève, en même temps, plus rapidement.

Les cotylédons secs pèsent un peu moins à l'obscurité qu'à la lumière. La principale cause de cette différence paraît être, non l'absence d'assimilation, mais l'appel plus grand de leur substance par l'axe hypocotylé. Contrairement aux organes précédents, ils renferment, par rapport au poids sec, et en valeur absolue, plus d'eau à la lumière qu'à l'obscurité. Dans les deux cas, la quantité d'eau va en augmentant quelque temps légèrement.

La tige est la partie de la plante qui présente la plus grande différence en poids sec à la lumière et à l'obscurité. Pendant le développement de l'axe hypocotylé, le rapport du poids d'eau au poids sec de la tige est sensiblement le même dans les deux cas.

Quand l'axe a terminé son développement, ce rapport devient, au contraire, notablement plus grand dans la tige croissant à l'abri de la lumière.

La fin de la végétation à l'obscurité, qui a lieu quand les matières de réserves sont épuisées, est accompagnée d'une perte de poids sec de tous les membres de la plante.

La forte proportion d'eau qui caractérise en partie cette végétation est due, ici encore, à un ralentissement de la transpiration, et surtout à une augmentation de l'absorption.

Ce travail a été fait au Laboratoire de recherches botaniques de la Sorbonne, où il m'a été bien facilité par les conditions matérielles dans lesquelles j'ai pu le poursuivre. En adressant à M. le professeur Bonnier le témoignage respectueux de ma vive gratitude pour ses bienveillants conseils et son extrême obligeance, je suis heureux d'accomplir ici un devoir de reconnaissance.

EXPLICATION DES PLANCHES

Planche 9.

FIG. 1. — Courbes des variations de poids sec de la racine, de l'axe hypocotylé, de la tige et des feuilles du Lupin.

AG. *Germination*. — Les racines et l'axe hypocotylé ont, en poids sec, un gain quotidien sensiblement régulier.

G. *Début de l'assimilation chlorophyllienne*. — Augmentation rapide du gain quotidien de la racine.

GC. *De la fin de la germination à la chute des cotylédons*. — Le gain quotidien de la racine subit une augmentation croissante. Dans l'axe hypocotylé, le gain quotidien a diminué, puis s'est arrêté. Le gain quotidien de la tige et des feuilles va croissant.

CC'. *Chute des cotylédons*. — Le gain quotidien des racines diminue. Le poids sec de l'axe hypocotylé s'abaisse. Il y a augmentation rapide dans le gain, en poids sec, de la tige et des feuilles.

C'F. *Depuis la chute des cotylédons jusqu'au moment où les fleurs vont apparaître*. — Le gain quotidien augmente de nouveau dans la racine et dans la tige et les feuilles. Le poids sec de l'axe hypocotylé reste à peu près stationnaire.

FF'. *Floraison*. — Au début, le poids sec des racines et de l'axe hypocotylé diminue. La tige et les feuilles gagnent encore en poids sec, mais sans présenter d'augmentation brusque de poids, correspondant à la perte des autres organes. A la fin de la floraison, il y a de nouveau, dans tous les membres, un gain quotidien qui va croissant.

FIG. 2. — Courbes des variations de poids sec des cotylédons. La perte de poids sec, par jour, due aux transformations chimiques augmente légèrement, et régulièrement, depuis le début de la germination jusqu'à la chute des cotylédons (C).

La perte de poids sec, par jour, due à la migration de substances vers les autres parties de la plante, s'élève d'abord très rapidement, passe par un maximum (M) et diminue progressivement jusqu'à la chute des cotylédons (C).

Planche 10.

FIG. 1 et 2. — Les deux Lupins vivent depuis soixante jours, l'un (1) dans la solution de Knop, et l'autre (2) dans l'eau distillée.

FIG. 3. — Schéma d'une coupe transversale de l'axe hypocotylé de la plante 1, cultivée dans la solution.

FIG. 4. — Schéma d'une coupe transversale de l'axe hypocotylé de la plante 2, cultivée dans l'eau distillée.

FIG. 5. — Schéma d'une coupe transversale de la tige épicotylée (premier entre-nœud) de la plante 1, cultivée dans la solution.

FIG. 6. — Schéma d'une coupe transversale de la tige épicotylée (premier entre-nœud) de la plante 2, cultivée dans l'eau distillée.

Ces quatre schémas montrent les dimensions relatives, à cette époque, de la moelle (*m*), du bois (*b*), du liber (*l*), de l'écorce (*e*) dans ces différentes parties de la tige.

Vu et approuvé, Paris, le 28 janvier 1889.

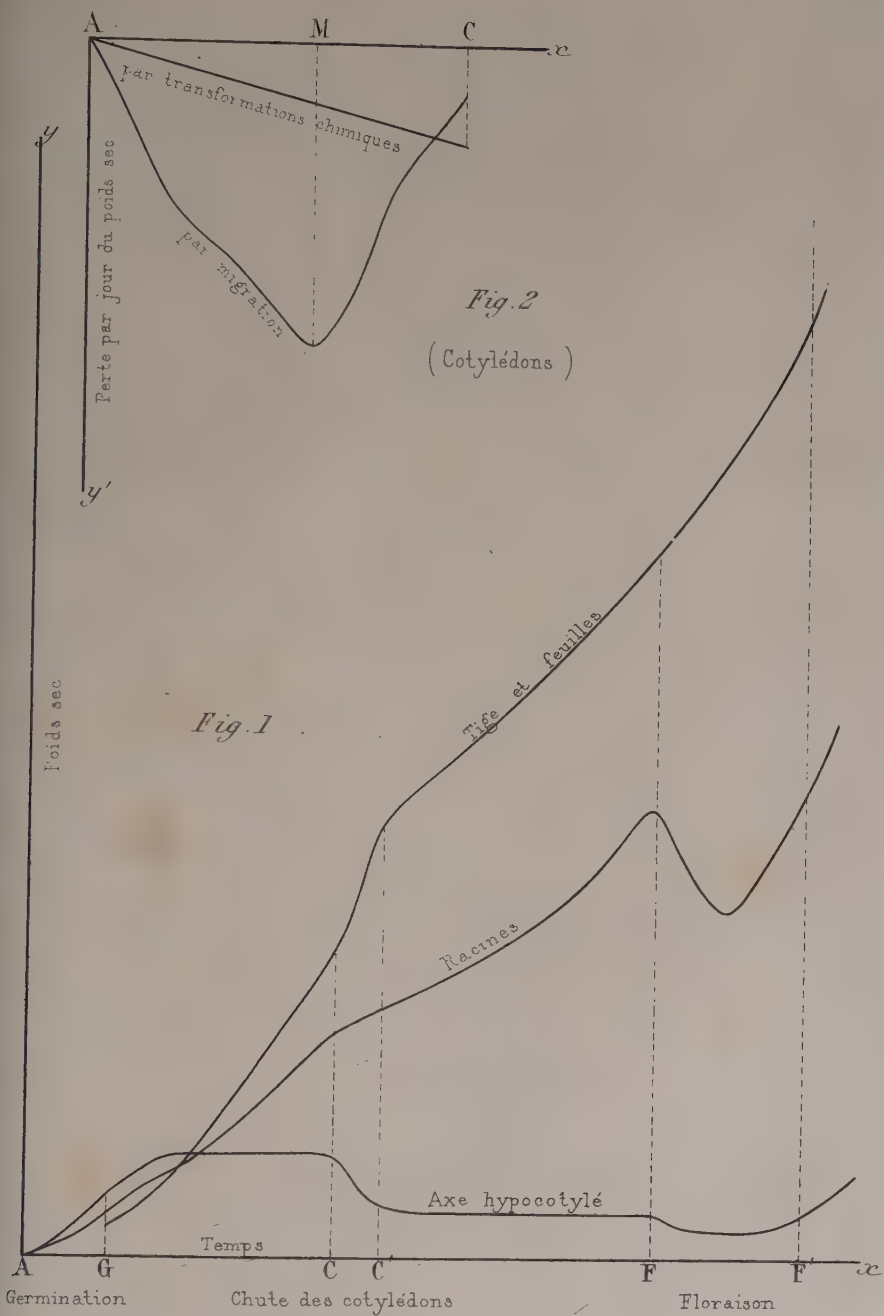
Le Doyen de la Faculté des Sciences,

E. HÉBERT.

Vu et permis d'imprimer, le 29 janvier 1889.

Le Vice-Recteur de l'Académie de Paris,

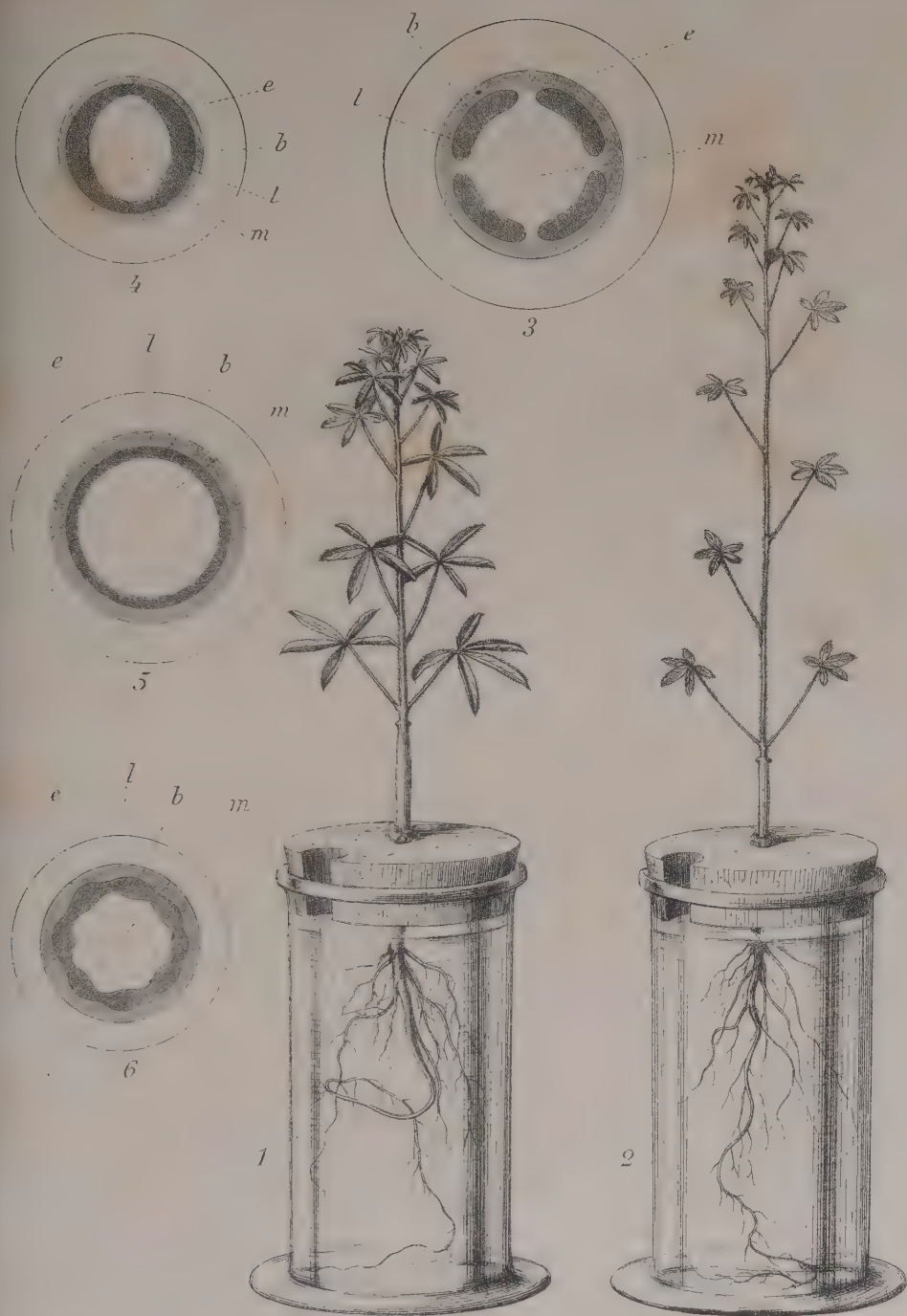
GRÉARD.



Développement des plantes annuelles.

Imp. E. Bry Paris

F. Dufour 50



Millot sc.

Imp. Edouard Bry, Paris

Développement des plantes annuelles.

DEUXIÈME THÈSE

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

ZOOLOGIE. — Les Mollusques.

GÉOLOGIE. — État initial du globe terrestre. — Principaux faits qui permettent de s'en faire une idée.

Vu et approuvé, Paris, le 28 janvier 1889.

Le Doyen de la Faculté des Sciences,

E. HÉBERT.

Vu et permis d'imprimer, le 29 janvier 1889.

Le Vice-Recteur de l'Académie de Paris,

GRÉARD.

